هندسة الوقاية
Protection Engineering
في
In
Circuits & Networks
النظم والدوائر الكهربية

تأليف

أ. د. محمد محمد حامد

القاهرة - 2007

المحتويات

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

انطلاقا من الواجب الوطني نحو المساهمة في إحياء المكتبة العربية كضرورة لتقدم الأمة علي النطاق الهندسي توجهت نحو تأليف هذا الكتيب من أجل خدمة أبناء الوطن العربي وخصوصا الطلاب منهم في واحد من أهم المجالات الهندسية تقدما، فالكتاب يتعامل مع تقنيات المبادئ الأساسية بشكل مبسط عن موضوع الوقاية في الشبكات الكهربية وهو بذلك يسهم بشكل كبير في رفع مستوى القارئ الذي لا يعلم عن الموضوع إلي مستوى تقني عالي يستطيع معه التعامل مع أعقد الدوائر في ميدان الوقاية في الشبكات القومية بشكل عام.

الكتاب يشمل عددا من الفصول يصل إلي سبعة وكل فصل منهم مستقل إلا أنه ينبغي علي القارئ الذي يتعامل مع هذا التخصص أن يعيد قراءته مرة ثانية بعد تلك الأولي لأنه سوف يكتشف الكثير من النقاط التي كانت غير ملموسة في أول مرة. المقصود بأنها غير ملموسة أن القارئ قد لا يعير هذه النقطة أو تلك أهمية ويعتبرها كلمات عابرة ولكنها في الحقيقة كلمات مؤثرة داخل هذا المجال الهندسي الهام خصوصا وأن الموضوع متشابك ومتداخل في كل فصوله في الكثير من النقاط الجوهرية، كما أنه من الهام التنويه عن أهمية النظرة الموضوعية وبأسلوب مركز حيث يبتعد الأسلوب هنا عن الإطالة بل ويتجه في أغلب الأحيان إلي التلخيص والتركيز.

يتعامل هذا الكتيب مع موضوع الحماية في الشبكات الكهربية ككل وهذا ما يضفي علي الشرح الوارد الصبغة الشمولية للفهم، أما بالنسبة لموضوع الوقاية في المناطق المحدودة مثل المصانع أو الشركات الإنتاجية أو الورش أو حتي مع الأدوات والأجهزة المنزلية ففهم هذا المحتوي يزيد ويرفع من مستوي القارىء مع ما يهتم به من موضوعات بسيطة ومحدودة بالنسبة لما يذكر هنا. من هنا يفيد الكتاب المهندسين والمتعاملين مع مثل هذه الأجهزة المنزلية مثل الثلاجات والغسالات والمحركات وغيرهم من الأجهزة سواء من ناحية التشغيل المقنن أو من ناحية الصيانة.

نظرا لأن الموضوع العام في هذا الكتيب يحتاج إلي الشرح بصفة مركزة في كثير من الأحيان فقد توجه الكتيب في هذه الطبعة إلي إضافة عددا من الأمثلة العددية التي تزيد من التوضيح والشرح حتي يتعامل معها المهندس والطالب علي السواء مما يساعد في تبسيط الموضوع الذي يتناوله الكتاب. إضافة إلي ذلك فقد تم تخصيص الباب الأخير للمسائل والتمارين ونماذج بعض الإمتحانات للتدريب علي كيفية التعامل حسابيا مع هذا المجال.

يصلح هذا الكتيب لكل من مهندسي الكهرباء الراغبين في تخصص الوقاية وكذلك يكون معينا لمهندسي تشغيل المحطات الكهربية محولات أو توليد وهو مفيدا للطلاب في كليات الهندسة والتكنولوجيا والمعاهد الهندسية العليا والمعاهد الفنية ومعاهد التحكم الآلي لما تمثله المادة العلمية في هذا الكتاب من قيمة ذات مغزي تفيد مهندسي التحكم، خصوصا عند التعامل مع المتحكمات قابلة

للبرمجة . كما يمثل الكتاب بشكله المعروض والطريقة العلمية الموجودة دليلا وافيا لطلاب المدارس الفنية المتقدمة والصناعية ويهديهم إلي الطريق السليم في الإطلاع علي باقي المراجع والكتب في هذا التخصص، وهذا الكتاب بما يحتويه من مفهوم هندسي ما هو إلا دليلا مؤكدا علي قدرة الله سبحانه وتعالى وأن القدرة الإلهية تفوق كل تصور وقد ذكر الله سبحانه وتعالي في كتابه الكريم

بسم الله الرحمن الرحيم

{{ ولقد تركناها ءاية فهل من مدكر }}

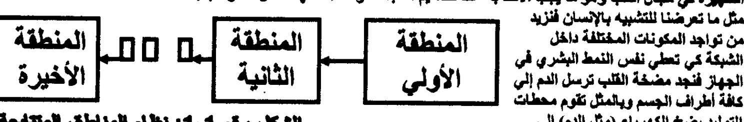
صدق الله العظيم

المؤلف

الشبكات الكهربية ELECTRIC NETWORKS

تعتبر الشبكة الكهربية خلية حيوية مثل جسم الإنسان فهي خلية نشطة متحركة بصورة ديناميكية وتعمل علي كافة المحاور وبثبات درجة حرارة الجسم البشري وقوة ضغط الدم للإنسان وغير ذلك من المعاملات الطبية اللازمة لتحديد ما إذا كان الجسم سليما أم لا، وهكذا أيضا تكون تلك الخلية الحيوية المتمثلة في الشبكة الكهربية عاملة بطريقة سليمة تبعا للمعاملات الطبية الهندسية في هذه الحالة. وكما يسيطر علي الجسم الآدمي الجهاز العصبي (المخ والأعصاب) تحتاج تلك الخلية إلي جهاز عصبي يسيطر علي كل المعاملات الصحيحة للتشغيل وهو ما يعرف باسم أجهزة الوقاية في الشبكات الكهربية، وهذا الجهاز يقوم بعزل المناطق المريضة فيها ويعطي من التحاليل والبيانات ما يكفي لتحديد مكان الخطأ ونوعيته وهو ما يعادل الأشعة والتحاليل الطبية لتحديد مكان الألم (الخطأ) أو علاج العيب مباشرة سواء بالعلاج المباشر جراحيا (تغيير معدة) أو بالإصلاح البسيط (الصيانة) عند اللزوم. نري أن العمل الوقائي أهم من العلاج وهي العبارة الشهيرة في مجال الطب وهو ما يجب الأخذ به عند تصميم الشبكات وأثناء أدائها للعمل المنوط به.

مثل ما تعرضنا للتشبيه بالإنسان فنزيد من تواجد المكونات المختلفة داخل الشبكة كي تعطي نفس النمط البشري في الجهاز فنجد مضخة القلب ترسل الدم إلي كافة أطراف الجسم وبالمثل تقوم محطات التوليد بضخ الكهرباء (مثل الدم) إلي جميع أطراف الشبكة حيث المستهلك،



الشكل رقم 1-1: نظام المناطق المتتابعة

وكما تنقل الأوردة والشرايين الدم فنجد الحاجة لوجود خطوط نقل الطاقة الكهربية من حيث مكان الضخ إلي أطراف الاستهلاك. لا نترك هذا هنا أننا قد نحتاج لمحولات قدرة لرفع الضغط ليكون النقل اقتصاديا بجانب الناحية الفنية لأسس النقل الكهربائي وبالتالي خفضه مرة أخري إلي الحد المطلوب عند الاستهلاك، وكل هذه العمليات تتم تحت رعاية الجهاز العصبي وهو هنا أجهزة الوقاية.

مع الفارق الكبير بين طبيعة الجسم البشري خليقة الرحمن والشبكة الكهربية المبتكرة عن طريق الإنسان نجد ضرورة هامة لتوافر بعض الضمانات الأساسية مثل الأمان والتكلفة في جميع مراحل الشبكة الكهربية بدءا من الإنتاج فالنقل ثم التوزيع فالاستهلاك والاستغلال ومن ثم نحتاج إلي مزيد من التفصيل لفهم ماهية الأجهزة الوقائية في الشبكات عموما ثم ننتقل إلي الأجزاء الفرعية ذات التخصص الأكثر دقة وهو ما سوف نتبعه في الأجزاء والفصول الواردة في هذا الكتيب.

نجد حدودا فاصلة بين التحكم في الجسم والكشف عن العيوب وتحديدها بينما تعمل في عملها اليومي المعتاد فنري أن هذا أيضا ينطبق علي الشبكة الكهربية حيث يلزم التحكم في بعض المعاملات سواء كان يدويا أو آليا سواء كان أيضا عن قرب أو من بعد بينما نجد وسائل الوقاية هي المسئولة عن كشف العيوب والأخطار والتخلص منها بصفة تلقائية وإعطاء الإشارة المناسبة لكل حالة كنوع متقدم من التحليل للبيانات والتي تماثل الأشعة والتحاليل الطبية للإنسان.

المنطقة الأولي
المنطقة الثانية
المنطقة الأخيرة

الشكل رقم 1-2: نظام المناطق المتتابعة مزدوجة التلامس

1-1: تقسيم المناطق بالشبكات DIVISION OF NETWORKS

عند التعرض إلي الشبكات الكهربية الضخمة نحتاج إلي التعامل معها في أجزاء ثم مع المجمل مع مراعاة الدقة عند التعرض للأجزاء هذه وبذلك تظهر الحاجة إلي تقسيمها إلي مناطق بسياق محدد ومنها النظم التالية:

أولا: مناطق متتابعة Sequential Zones

بالرغم من ضرورة وأهمية ربط الشبكات معا بحيث تعطي في النهاية شبكة قومية واحدة علي منوال الشبكة الدولية للمعلومات والمعروفة باسم الأنترنت ولكن علي القياس الوطني بينما نجد من الممكن أن تتنوع هذه المناطق من حيث الربط في ما بينها كهربيا وذلك علي النحو الآتي:

1- وحيدة بنقطة التلامس single connection

هي بالصورة الموضحة في الشكل رقم 1-1.

2- مزدوجة نقاط التلامس double point of connection

إنها تأخذ الشكل الموزع كما جاء في الشكل رقم 1-2.

3- متعددة نقاط التلامس multi point of connection

هي مثيلة لتلك الواردة في الشكل رقم 1-2 مع العديد من نقاط التغذية بين المناطق. ذلك يعني أن نقاط التلامس (النقاط المشتركة) بين المناطق متعددة أو أكثر من نقطتين، مما قد يعود بالتغييرات المتاحة في سريان الطاقة بالشبكة بينهم.

ثانيا: مناطق حلقية Ringed Zones

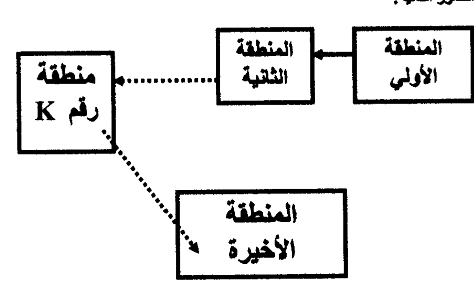
هذه المناطق تتنوع في الأنماط التالية:

1- مناطق مغلقة closed type

هي كما نراها في الشكل رقم 1-3 حيث نجد الترابط متتالي ومنتهيا عند المنطقة الأولي بحيث لا يمكننا تحديد أي منهم الأولي بصفة دائمة.

2- مناطق مفتوحة opened type

هي مثل السابقة تماما ولكن لا تنتهي المنطقة الأخيرة عند الأولي بل ويتعذر أن يتحدد معها المنطقة الأولي أو الأخيرة بصفة دائمة وبشكل واضح بخلاف ما كان في النظام السابق (الشكل رقم 1-4).



الشكل رقم 1-3 : نظام المناطق الحلقية المقترحة

ثالثا: مناطق متداخلة Interfered Zones

من حيث المبدأ لا يمكن أن تتواجد شبكة وطنية موحدة في شكل تسلسلي، أي أن الشبكة تأخذ من نقطة إلي التالية كما لو كانت دائرة كهربية موصلة علي التوالي. ذلك هو ما يجعلنا نتعامل مع شبكة كهربية (دائرة كهربية) متشابكة، ولذلك نجد أنه لا يمكننا تقسيم الشبكة إلي مناطق مستقلة بسهولة مما يستوجب وضع بعض الشروط لهذا. ومن الجهة الأخري نستطيع ان نحدد هذه المناطق بصفة أولية في الصور التالية:

1- مناطق بدرجة تداخل واحدة single degree of interference

يمثل الشكل رقم 1-5 ذلك الوضع الهندسي المتتابع لنقاط التداخل حيث يبين أن المنطقة رقم 1 (منطقة تغذية كهربية تشترك مع المنطقة التالية مباشرة فقط بطريقة تداخلية وهي المنطقة رقم 2، وتتكرر الفكرة ذاتها حتي المنطقة رقم 5 وهي التي تشترك في نقطة واحدة مع المنطقة السابقة رقم 4 بينما تشترك مع المنطقة التالية في رقم 6 في نقطة واحدة إلي ان تصل إلي آخر منطقة في المنظومة ككل.

المنطقة الأولي
المنطقة الثانية
منطقة رقم K
المنطقة الأخيرة

الشكل رقم 1-4 : نظام المناطق الحلقية المقترحة

2- مناطق بدرجات تداخل عديدة *multi degree of interference*

من هذا الشكل نجد أن هذا التداخل بين المناطق المتلاصقة قد يأخذ أشكالا عدة فقد يكون بلا تداخل (مثل المناطق 11 أو تلك في اليسار بالشكل مثلا) في بعض الأماكن وقد يكون بدرجة واحدة فقط (مثل المناطق رقم 5 ، 10 - أو بأكثر من درجة مثل المناطق رقم 1، 2، 3 في الشكل 1-6).

1-2: مراكز التحكم DISPATCHING CENTERS

يمكن الاعتماد علي مركز التحكم كجهة محددة ومسئولة عن الأداء وتحليل البيانات ومركزا لاتخاذ القرار مما يضعها علي قمة المواقع الإدارية داخل الشبكة ككل ويمكننا أن نضع أنواعا متباينة من هذه المراكز علي النحو التالي:

أولا: مركز تحكم وحيد Central Type

أنه مركز وحيد يسيطر علي كافة الأمور الفنية والصيانة وجدولة التحميل وكل ما يخص الشبكة في كل أجزائها، غير أن مثل هذا العمل يحتوي علي الكثير من الأعمال إذا ما أصبحت الشبكة ضخمة مثل ما توجد في الشبكة القومية الموحدة بمصر أو الأخرى في ليبيا أو

الشبكة الموحدة في أوروبا أو تلك النواة الأولي للشبكة الموحدة العربية وهي تلك الشبكة العربية التي تعمل فعلا بين كلا من مصر وليبيا وتونس ومعهم الأردن وهي ما أظهرت العديد من المزايا المشجعة التي تحفز هذه الدول لرفع مستوي الجهد عند الربط وغير تلك الشبكات والتي تتواجد فعليا مثل الشبكة الكهربية الموحدة للإتحاد السوفيتي السابق. لذلك يكون من الصعب إتباع هذا النظام فيها، وتصلح هذه النظم في الشبكات الصغيرة وذات الجهود القليلة بحيث يسهل علي المركز هذا التحكم فعلا في كافة الأعمال في الزمن القصير المطلوب لها.

ثانيا: مراكز تحكم متعددة المناطق Independent Zones Type

نحتاج إلي هذا الأسلوب عندما يضيق وقت المتابعة والتنفيذ علي المركز الوحيد خصوصا وأنه أفضل الأنواع عندما يسمح له وقت الأداء بذلك ولذلك يكون البديل هو نظام توزيع المسئولية (إستيراتيجية اللامركزية)، كما أن هذا الأسلوب يكون جوهريا مع الشبكات الكبري أو الشبكات الكهربية الوطنية والقومية الموحدة. من هذا المنطلق أو بالمعني الأصح تقليل عبء العمل عليها بتوزيع الأدوار فيما بين هذه المناطق التي يتم تحديدها مسبقا وهذه بدورها تتفرد في محورين هما:

الشكل رقم 1-7: مناطق متداخلة بدرجة واحدة

المحور الأول: مراكز تحكم متعددة مستقلة *Independent Zones Type*

حيث تستقل كل منطقة بعيدا عن غيرها ولا يحدث أي تداخل بينها سواء من جهة الاختصاص أو التعامل الفني والهندسي بها ويمكننا وضع نوعين منها هما:

النوع الأول: مراكز تحكم تبعا للجهد Voltage Dispatching Centers

يمكن تقسيم هذه المراكز تبعا للجهود خصوصا وأنه من الناحية الفنية تتنوع الشبكات بهذه الصفة وبشكل رسمي وواضح ولكل منها المواصفات المحددة لها فتصبح هذه المراكز كما يلي:

الشكل رقم 1-8: مناطق متداخلة

1- مركز تحكم للشبكات الرئيسية Main networks Type

تختص هذه المراكز بالجهد الأقصى في الشبكة ككل من أطرافها إلي أقصاها دون أية اعتبارات فنية كانت أو إدارية مثل الجهد 500 – 220 ك. ف. في مصر أو 220 ك. ف. في ليبيا والمقترح لجهد الربط 400 ك. ف. بين ليبيا ومصر وتونس، كما يوجد مركز تحكم مركزي في مدينة طرابلس في ليبيا، ويصبح عبء توصيل الطاقة من مراكزها إلي الشبكات الأقل جهدا علي عاتقها. كما أن هذا النظام قد تم تنفيذه في جمهورية مصر العربية في بداية العمل علي شبكة السد العالي وظل النظام يعمل بكفاءة عالية نتيجة التخصص في الجهد مما قد يعود علي حماية العاملين علي الجهد هذا من خطر الإهمال الذي قد يقع فيه أحد العاملين.

2- مركز تحكم لشبكات الجهد العالي For HV network

تتبنى هذه المراكز الخطوط ومحطات المحولات التي تعمل علي هذا الجهد مثل 220 – 132 – 66 ك. ف. في مصر مثلا وحتى أطراف الجهد التالي وهو جهد التوزيع والذي عادة يصل إلي 11 أو 22 ك. ف. كما تقوم ليبيا بإنشاء عددا من هذه المراكز تبعا للتوزيع الجغرافي بها.

3- مركز تحكم للجهد المنخفض For Distribution Network

هي مراكز توزيع الطاقة علي المشتركين والمصانع والجهات الواقعة في دائرة الاختصاص وتعمل علي الجهد 11 أو 22 ك. ف. وتصل به حتى الجهد 380 / 220 فولت وبعض الأحيان إلي الجهد 110 فولت، كما تنقسم هذه المراكز إلي نوعيات مختلفة تعتمد علي نوعين في أغلب الأحيان كما يلي:

النوع الثاني: مراكز تحكم مساحية Zone Centers

تقوم عمليات التقسيم عموما علي فلسفة هندسية مؤكدة ومنها تلك الصفة التي تتعلق بالمنطقة المساحية للشبكة وفي ذات الوقت بما يخضع للمواصفات الفنية الهامة والأساسية كي يكون التقسيم ملائما، وتلك المساحية تتنوع تبعا لطرازين كما يلي:

1- مراكز تحكم للمناطق الفنية Technical Zone Centers

تقسم المناطق بأسلوب الجهد أو نقاط التوصيل فيما بينها كي نمنع التداخل فيما بينها ويتبع ذلك نقاط التوصيل المختلفة لتكون المحك بينها ويكون التلاقي والاتفاق واضحا خصوصا إذا ما كانت مستقلة كشركات مستقلة الإدارة أو الشخصية الاعتبارية فيجعل التعامل بينهم واضحا دون لبس (إزدواجية المسئولية).

2- مراكز تحكم للمناطق الإدارية Administrative Zone Centers

هذا التقسيم يعتمد علي سهولة العمل الإداري لما يشكله من عائق عند تداخل الاختصاصات وبالتالي تزداد الصعوبة علي المسئول مما قد يخل باتخاذ القرار السليم، ومن أهمها المناطق الحدودية بين الشبكات المتجاورة والمتصلة معا في شبكة موحدة ولذلك نجد منهجين للتوصل إلي ذلك كما يلي:

(أ) التقسيم الإداري داخل الشركات Administration Classification

تعمل هذه المراكز علي الجزء من الشبكة داخل النطاق الإداري والخاص بالعمل في الشركات المستقلة معا والتي تتجاور من جهة التوصيل الكهربي ويمكن أن يسحب هذا الكلام واستيراتيجية المنهج أيضا علي الشبكات القومية المرتبطة سويا مثل الربط بين تونس وليبيا ومصر والأردن وتكون مسئولة عن العمل في هذا الحيز والذي يتميز بالسهولة لأنه يتبع جهة واحدة دون غيرها، وبالتالي يتم العمل دون عائق أو مشكلات قد تكون بعيدة تماما عن عمل مركز التحكم.

(ب) التقسيم الإقليمي داخل الدولة State Classification

في بعض الحالات يكون النظام الإداري لكل الشركات أو الهيئات العاملة بالدولة تابعا للتقسيم الإقليمي مثل المحافظات في مصر وبهذا يسهل التعامل مع الأجزاء إذا ما خضعت لذات التقسيم العام للهيكل الوظيفي والفني بها، وبهذا يكون هذا النظام الأكثر ملاءمة عن غيرة لما ينتج عنه من بساطة في تحديد الاختصاصات وسهولة وسرعة في الأداء حيث أن هذه المراكز عليها عبء التنفيذ الفوري دون أي تأخير وإلا ستهبط قيمة الإعتمادية بالشبكة وهو ما ينقص من المستوي الفني لهذه المراكز. كما تسهل هذه المهمة تماما في حالة ما إذا كانت هذه الشركات عبارة عن شركة واحدة كما هو الحال في ليبيا.

المحور الثاني: مراكز تحكم متعددة مختلطة Mixed Multi Zones

عندما تتداخل الشبكات بكل أنواع التقسيم السابق الإشارة إليها يصبح العمل صعبا بأي من النظم المذكورة لمراكز التحكم وبالتالي يكون علينا التوجه إلي ازدواجية العمل المنهجي ومن ثم نتبع التقسيم بأي من الطرق المشار إليها بجانب ذلك النوع المركزي والذي يكون منسقا لهم ويقع عليه عبء نقاط التداخل فيما بينهم بجانب عمله كما لو كان يخص الشبكات الرئيسية كي يضمن سلامة أداء الشبكة ككل وهذه المراكز تصلح في الشبكات الضخمة وكذلك في حالات الربط الكهربي بين الشبكات القومية المختلفة مثل الشبكة الكهربية العربية الموحدة الوليدة ومثل الشبكة الأوروبية الموحدة وتلك في شمال آسيا، وهي أيضا التي تعريف باسم مراكز متعددة للمناطق غير مستقلة مع مركز مركزي Central / multi Zones Type.

مع الربط الكهربي الحالي بين الدول المتجاورة من الدول العربية يكون من الهام إنشاء مركزا للتحكم من أجل الربط بينهم ويكون مسئولا عن فرعين هما:

الأول: الأداء الفني وتبادل الطاقة Technical Performance

يقوم هذا المركز بعمليات التوصيل والفصل المطلوبة تلبية للطاقة المطلوبة من الجهات المختلفة مع تأمين سريان الطاقة أثناء ذلك وهو عمل هندسي لا يرتبط بغيرها من الأعمال الاقتصادية.

الثاني: المراجعة المالية لتبادل الطاقة Financial Revision

المراجعة المالية تشمل تكلفة نقل الطاقة الكهربية من دولة إلي أخري أو من جهة إلي أخري ويقع تحت طائلة هذا الوضع كل الشركات الخاصة بإنتاج وتوزيع الطاقة داخل جمهورية مصر العربية بعد الانتهاء من الخصخصة لها كما تتواجد نفس النوعية من الأعمال هذه في كل من ليبيا والأردن وتونس من أجل المراجعة المالية لتبادل الطاقة لأنه من الممكن أن دولة الوسط هي دولة لنقل الطاقة من دولة في جهة إلي أخرى في الجهة الأخرى فمثلا تنتقل الطاقة من تونس إلي ليبيا ثم إلي مصر وبالتالي تحتسب أولا علي ليبيا ثم تحسب لصالح ليبيا من الجهة الأخرى لانتقالها إلي مصر وهنا تظهر أيضا نقطتين أساسيتين هما:

أولا: تبادل الطاقة وحيد الاتصال Single point of transfer

مع تبادل الطاقة بين الدول المشتركة في شبكة موحدة تكون الحاجة ماسة إلي مركز وحيد إما علي شكل سوق اقتصادية للطاقة أو علي نمط المحاسبة المتبادلة ورقيا وعندما تكون هناك نقطة وحيدة للربط يكون من السهل القيام بهذا العمل من خلال مركز وحيد.

ثانيا: تبادل الطاقة متعدد الاتصال multi point transfer

عندما تتزايد نقاط الربط في الشبكة سواء كانت هذه النقاط بين الدولتين المتجاورتين معا مثل الربط بين كلا من ليبيا ومصر من جهة وكذل بين مصر والأردن فقط أو بين مجموعة من الدول معا في وقت واحد مثل الربط الثلاثي العربي بين مصر والأردن وليبيا وتونس أو كما هو الحال في الشبكة الأوروبية الموحدة، وهذا يحتاج إلي التنسيق بين النقاط المختلفة للمحاسبة النهائية لتكون مرة واحدة

وبالصافي المستحق مباشرة وهنا تظهر أهمية عوامل الاتصالات وشبكة الإنترنت وغيرها من الوسائل المستحدثة حتى نحصل علي خلاصة المستحقات المالية مباشرة، وعادة ما يكون مبرمجا بحزم برمجية جاهزة الطابع.

3-1: نظم الحماية PROTECTION SYSTEMS

تعتمد نظم الحماية الآلية علي العديد من القواعد والعوامل لأنها تنشد حماية كلا من المعدات العاملة في الخدمة والإنسان سواء المتعامل مع الشبكة الكهربية بصفة الحرفة والمهنة أو ذلك العابر بالصدفة من خلال أو داخل هذه الشبكات الكهربية حاملة الجهد الخطر علي حياة البشرية في حالات الخطأ. لهذا ندخل هذا المجال بمقدمة بسيطة وصولا إلي الغرض الهام من التقنيات المختلفة المستخدمة في هذا الميدان وكي نتفهم المرور المرحلي لتطور هذه الصناعة الجوهرية والتي لا غني عنها عند التعامل مع الشبكات الكهربية بشكل عام.
هكذا كان من الواجب أن نتجه مباشرة إلي بعض الحدود الأساسية والهامة في التعامل مع وسائل الوقاية الآلية المتنوعة وماهيتها وكيفية استخدامها في الشبكات الكهربية من أجل تحسين مستوي الأداء بالشبكة الكهربية من أجل زيادة معدلات التميز في شبكة عن غيرها أو في موقع ما دون غيره، وتزداد أهمية هذا الموضوع مع الحركة الدولية الحديثة والتي تعتمد علي استيراتيجية الربط بين الشبكات الكهربية القومية المتجاورة وهو ما يتيح لنا إلقاء الضوء علي المعايير اللازمة له ومدي التغير الذي سيصاحب هذه التغيرات الدولية وشبكاتها الكهربية. ومن هنا يلزم وضع بعضا من الأنواع الهامة لمعني الحماية الآلية (التلقائية) بشكلها العام والخاص بما فيه من دقائق الأمور للتصرف الخاص لجزء ما من الشبكة لندرك مكمن أساليب الوقاية في الشبكات الكهربية.

(أ) حماية شاملة OVERALL PROTECTION

تخضع الحماية الشاملة للتصنيف التالي:

أولا: أخطاء هندسية وفنية Engineering Faults

تتباين هذه الأخطار الناتجة عن العمل الهندسي أو الفني من حيث درجة الخطورة فمنها ما هو عالي الخطورة ومنها ما هو بسيطا، كما أن هذه الخطورة تمثل قد تقع علي النفس البشرية وقد يتأثر بها بل وقد تودي بحياته. من الناحية الثانية تتنوع هذه الخطورة إلي عددا من الأنواع:

- 1- الحرائق Fires
- 2- التسرب الإشعاعي Radiation
- 3- تواجد الغازات الضارة Hurting Gases
- 4- الخروج عن مدي التحميل الفعلي للمعدة Out of Loading
- 5- العيوب المواكبة للأخطاء في التصميم Design Defects

ثانيا: أخطاء بشرية Human Faults

من حيث أن التعامل في الشبكات الكهربية يعتمد علي إما الإنسان أو المعدات فتقع مسئولية الأخطاء في ناحية الإنسان في بعض المحاور وهي التي تتفرع من هذه الأخطاء لتوضع من خلال نوعين جوهريين هما:

1- مسئولية إدارية Administrative Responsibility

هذا النوع يشمل العديد من الأساسيات التنظيمية في العمل وكيفية التعامل مع حالات الطوارئ أو الصيانة بأنواعها المختلفة أو التشغيل ونظم العمل المتبعة فيه وذلك من خلال عددا من الأسس الجوهرية والتي تتمثل في عددا من النقاط مثل:

أ- التدريب المستمر Continuous Training

يعتبر التدريب المستمر من أهم العناصر التي تساعد علي رفع معامل الإنتاجية والمتمثل بتغطية النواحي الفنية والتقنية عموما بجانب التأكيد عليها من الناحية التسلسلية أو التي قد تظهر أنها بيروقراطية ولكنها في الحقيقة معاملا هاما تأمينا لحياة العاملين قبل المعدات والأجهزة.

ب- الالتزام بقواعد الأمن الصناعي Industrial Safety

ج- ضرورة الإشراف المباشر Supervision

د- المتابعة الدائمة سواء للعاملين أو للمعدات والمحطات Continuous Inspection

2- أخطار ميدانية Field Dangers

تأتي الأخطار في الموقع بشكل مفاجئ غالبا وهو ما يحتاج إلي التنظيم المسبق في العمل، بمعني أن توضع الاحتمالات منذ البداية والتوقعات المتلاحقة، ولذلك نجد أن هذه النوعية من الأخطار تحتاج إلي المزيد من المساعدات فمنها:

- 1- أجهزة الإنذار السمعية والصوتية
- 2- خلق مسارات لتسرب التيار
- 3- عزل المواد المشتعلة عن الهواء
- 4- منع التشغيل الخاطئ

5- التأريض قبل إجراء أية أعمال ميدانية
6- الحماية الميكانيكية
7- التشغيل عن بعد.

ثالثا: أخطار طبيعية Natural Dangers

تتمثل هذه الأخطار من الكوارث الطبيعية أو حتي تلك المخاطر التي تتبع التعامل مع المعدات والمحطات وتوضع المعايير الهندسية لهذا النوع في عدد من النقاط المحددة علي الوجه الآتي:

1- الزلازل Earthquake

من المعروف أن الزلازل تضيف حملا ديناميكيا قاسيا علي كل ما هو موجود عي سطح الأرض بما فيها الجبال والمباني وغيره متضمنا تلك التركيبات الكهربية علي مستويات الجهد المختلفة مثل شبكات التوزيع أو خطوط النقل أو المحطات الكهربية مثل محطات المحولات والتوليد والتتوصيل وكذلك الربط الكهربي. هكذا يلزم وضع مواصفات قياسية قاسية لمواجهة أحمال الزلازل العالية تبعا للمواصفات القياسية الدولية ولذلك يجب أن يلتزم المهندس والمصمم بإتباع كود الزلازل عند التصميم حماية للمعدات المختلفة ومن قبلها حماية الأفراد القريبين من تلك المعدات مما يعود علي رفع قيمة إعتمادية تشغيل الشبكة ككل.

2- الرياح والعواصف والعجاج Storms

هي تلك التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار هذه الظواهر الطبيعية عند التصميم سواء في المحطات أو الخطوط الهوائية وما يلزمها من ووضع نقاط تثبيت للعوازل أو مثقلات وزن لخفض التذبذب كما في الخطوط.

3- الصواعق Strokes

بالرغم من عدم تواجدها في منطقتنا العربية إلا أنه يلزم وبالضرورة القصوي تبعا لنظم التصميم الهندسية أن يتم تركيب مانعات الصواعق علي القضبان والخطوط الهوائية والملفات لتلك المعدات والمهمات في الشبكة مثل المولدات والمحولات وغيرهم.

(ب) حماية إدارية ADMINSTATIVE PROTECTION

تحتاج الأعمال الإدارية إلي نوع خاص من التعامل الجاد والصارم والأخذ بتعليمات الأمن الصناعي والسلامة المهنية دون أي تراجع أو تقصير أو إهمال وخصوصا تلك النقاط التالية:

1- منع دخول الأفراد إلي الموقع
2- التصريح لأفراد مدربين محددين
3- عدم إعادة التوصيل إلا بعد التأكد من خروج الجميع من العمل
4 - التأكد من الموقع ذاته
5- تحديد وتسوير المكان مع إتباع تعليمات الأمن الصناعي بكل دقة
6- الإشراف المباشر
7- التأكد من عدم وجود خطورة
8- المراجعة بعد الإشراف
9- التدريب المستمر علي التقنيات المستحدثة
10- التدريب المتخصص

(ج) حماية فنية TECHNICAL PROTECTION

تتم الحماية الفنية لتلافي حدوث أية أضرار ويمكن أن نوجز هذا الضرر في نوعين محوريين مثل:

أولا: أضرار ناجمة عن زيادة التيار الكهربي current

إن ارتفاع التيار الكهربي عن الحدود المقننة يعتبر من الأضرار التي قد تودي بالمعدات العاملة بالشبكة الكهربية وهذه النوعية قد تتسبب في ضرر في اتجاهات متباينة ومن ثم نعرض ما يتفرع إليه:

1- طاقة حرارية heat energy فوق المعدلات المقننة (سخونة)

هذه الطاقة الحرارية تتسبب في أحد الحالتين:

(أ) قطع الأسلاك والموصلات أي أن الزيادة في التيار كبيرة والفترة طويلة فأدت إلي إنصهار المعدن الموصل للتيار وهو ما يكون قد أصبح مصهرا فيتوقف التيار عن المرور بالدائرة الكهربية

(ب) حرق العزل تدريجيا وتخميره إلي حد فقدان الخواص الكهربية له حتي يصبح موصلا (غير عازلا) للكهرباء فيحدث قصرا بالدائرة.

2- طاقة ميكانيكية mechanical energy

تتسبب في كسر المكونات الداخلة في الشبكة وخصوصا أجزاء التثبيت للمعدات والأجهزة التي تتعرض لمثل هذا الضرر.

ثانيا: أضرار ناجمة عن الجهد الكهربي voltage

هذه الأضرار من الناحية الفنية قد تتباين من حيث النوع أو الشكل، وعلي وجه العموم فإنها قد تتسبب في عدد من الأخطاء الفنية التي تضر بالتأكيد بكفاءة الشبكة أو قد يصل الضرر بتدمير معدة ما سواء تدميرا كليا أو جزئيا، ونوجز أهمها كما هو آت:

1- فصل كهربي مؤقت Emergency interruption

هذه النوعية من الفصل تحدث عادة لعيب قد يكون طفيف كما هو الحال في الكابلات الكهربية عند زيادة الأحمال بها أو نقاط الضعف في العزل في مكان بالعزل.

2- كسر كهربي electric breaking

الكسر الكهربي يعني انهيار العزل تماما مما يعني أن العزل أختفي تماما من حول الموصلات الحاملة للتيار والتي عليها جهد ولهذا السبب يتم في هذه الحالة فصل دائم للطاقة الكهربية من الشبكة إلي أن تتم أعمال الصيانة المطلوبة.

1- 4:مبادئ الوقاية الآلية PROTECTION BASICS

تتنوع نظم الوقاية في الشبكات الكهربية إلي نوعين هما:

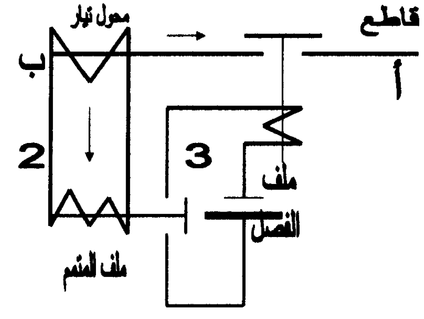
الأول: الوقاية الأساسية Main Protection

الشكل رقم 1 – 7 يقدم الدوائر الأساسية في شبكات الجهد العالي وإرتباطها بالدوائر المختلفة في دوائر الوقاية ومن ثم يكون جليا لنا أن دوائر الوقاية تعتمد علي عدد من الدوائر المختلفة وهي متباينة كما أنها تعتمد هذه الوقاية بشكل جوهري علي ثلاث نوعيات من الدوائر الكهربية المتباينة في الشكل أو المقتن وهي:

1- الدائرة الأولية Primary Circuit (الدائرة أ- ب)
2- الدائرة الثانوية Secondary Circuit (الدائرة 2)
3- دائرة الفصل التلقائي Tripping Circuit (الدائرة 3)

الشكل رقم 1-7 الشكل العام لهذه الدوائر الثلاث المتتالية في دائرة وقاية وهي جميعها أساسية للفصل عند أي قياس لزيادة التيار في الشبكة الأصلية.

الثاني: الوقاية الاحتياطية Back Up Protection



الشكل رقم 1-7: دوائر الوقاية الأساسية

تعتمد هذه النوعية علي احتمال عطل أي من مكونات دائرة الوقاية الأساسية أو مفتاح الفصل للدائرة نفسه circuit breaker المنوط به عملية الفصل وهو ما يجعل هذه النوعية هامة لدرجة كبيرة وكلما كانت مستقلة independent تماما عن دائرة الوقاية الأساسية كلما كان معامل الاعتمادية reliability أفضل. كما أن هذه الوقاية تمثل الوقاية المكتسبة للجسم بينما الوقاية الأساسية تعبر عن المناعة الطبيعية للجسم فتظهر أهميتها لرفع كفاءة نظم الوقاية للشبكة، كما نضيف أن هذا النوع من الوقاية لا يستخدم في الشبكات والدوائر وحيدة التغذية unit schemes مثل شبكات التوزيع حيث لابد من الاعتماد علي أسلوب الفصل متدرج الزمن time graded بينما تظهر أهمية الوقاية الاحتياطية مع شبكات الجهد العالي والفائق.

تقوم هذه النوعية علي نظام التأخير الزمني للفصل عن ذلك المحدد للوقاية الأساسية ويجب أن يكون محول التيار current transformer منفصلا تماما عن دوائر الوقاية الأساسية بجانب أنه من الأفضل أن يكون هناك مغذي للقدرة بالتيار المستمر D. C. Supply بعيدا عن مصدر الطاقة للوقاية الأساسية إلا أن هذا الشرط مكلف للغاية ويمكن التراجع عنه في أغلب الأحيان، أما محول الجهدpotential Transformer فيمكن إشراك كلا من النوعيتين فيه ولكن مع استخدام المصهر علي الملفات الثانوية لكل منهما لتكون الدائرتين مستقلتين بقدر الإمكان بشرط أن يكون فصل المصهر مزودا بأسلوب الإنذار عند فصله أو عند حدوث خطأ ما كما يوضع مصهر مستقل علي المتمم المساعد auxiliary relay في الدائرة.

نتناول المبادئ العامة في البنود التالية.

أولا: المتممات (المرحلات) relays

تعمل المتممات بنظم شتى فمنها ما هو معاصر ويعمل بآليات حديثة ومنها ما هو قديم منذ أن ظهر التيار الكهربي ولذلك نجد أنها تنضم إلي أجيالا متباينة وهي ما بأسلوب تقسيم مراحل التطور في الوقاية إلي ثلاث أجيال هي:

الجيل الأول: الأجهزة التأثيرية والكهرومغناطيسية Electromagnetic Type

في هذا الجيل كان الاعتماد علي وسائل القياس التقليدية لتحديد القيمة اللازمة لتحريك أدوات الفصل في دوائر الوقاية وكان زمن هذا الأداء كبيرا لتواجد الأجزاء الميكانيكية المتعددة والمتتابعة للتعامل الآلي وقد أصبح هذا النوع قديما إلا أنه مازال متواجدا علي الساحة ويعمل بشكل جيد في بعض المناطق التي لا تهتم بالفصل السريع.

الجيل الثاني: المتممات بالدوائر المتكاملة Integrated Circuits

بدأ العمل بهذا النوع مع التقدم العلمي في مجال الدوائر المتكاملة والأجهزة الخبيرة Expert systems وظهورها في المجال الصناعي فتحولت العمليات الآلية والتي تحتاج إلي الزمن الطويل لحركة بعض الأجسام لنقل التأثير الذي يحتاج إلي فصل الدائرة إلي نوع كهربي من خلال الدوائر الكهربية المتكاملة، وتداخل هذا النوع مع ذلك الموجود في الجيل الأول وحدث التلاحم بينهما ليكمل كلا منهما الآخر.

الجيل الثالث: الحاسب بدوائر الوقاية Computerized Programmed Type

بعد انتشار الحاسب الآلي بشكل كبير وتطور النظم الخبيرة سواء من خلال البرامج software أو الدوائر الكهربية hardware التي تعمل بها أصبح التعامل مع الحاسب الآلي computer بشكل مباشر في عمليات الفصل التلقائي أمرا ميسورا بل وضروريا وقد رفع من مستوي كفاءة العمل في هذا المجال.

تتنوع المتممات في شكل فصائل وأنواع مختلفة ويتم وضعها في ثلاث أشكال هي:

الشكل الأول: التصنيف تبعا لنظرية التركيب Construction

تنقسم المتممات إلي أنواع عدة بطرق مختلفة فهنا بالنسبة لنظرية تركيب المتمم وعمله نستطيع أن نضع هذه المتممات بالتصنيف التالي:

1- النوع الكهرو مغناطيسي electromagnetic

هو صالح لكل من دوائر التيار المستمر D. C. أو المتردد A. C. ويعتمد علي ذراع الحركة الحديدي moving iron داخل المجال المغناطيسي magnetic field والمتولد من تواجد التيار الكهربي ويعمل غالبا بأسلوب الذراع المتزن balanced beam type ويشمل هذا النوع الذراع الجاذبة بالمجال وهي المعروفة باسم attracted armature hinged.

2- النوع الإستنتاجي induction type

يمثل هذا الطراز النوع الأعم والأكثر شيوعاوالأوسع إنتشارا وهو يصلح لدوائر التيار المتردد فقط مثل المحركات التأثيرية (الاستنتاجية) induction motors حيث يتحرك المحور وعليه اسطوانة rotor نتيجة للعزم torque المتولد من تباين في الزاوية بين الفيضين flux المؤثرين علي الاسطوانة المحورية.

3- النوع الكهرو حراري Electro-thermal

يشكل طرازا هاما عند قياس درجة الحرارة لوسط ممثلا ومعبرا عن درجة حرارة ملفات أو أجزاء هامة بعيدة المنال لقياس درجة الحرارة الخاصة بهذه الملفات ومنها قياس درجة حرارة زيت المحول نيابة عن الملفات مثلا.

4- النوع الفيزيقي – كهربي Physical -electric

يعتمد هذا النوع علي الظاهرة الطبيعية المصاحبة للحالة الخطرة والملزمة للفصل الفوري مثل حالة جهاز البوخلز Buchholze المستخدم في وقاية المحولات وهو الذي يعتمد علي ظاهرة التواجد الغازي نتيجة التأين ionization للوسط الموجود في زيوت المحولات داخل تانك المحول مما يعبر باليقين عن تواجد شرارة مسببة لظهور هذه الغازات المتأينة، إضافة إلي ذلك نجد ظاهرة الإنفجار الداخلي وهو نتيجة توالد الغازات داخل التانك مثل المحولات علي سبيل المثال مما يصبح هذا التكاثر الغازي حطرا علي الإستقرار ومن ثم يلزم أن يصمم لهذا الوضع صمام أمان مثل ما يتبع تماما مع المحولات عموما.

5- النوع الإستاتيكي static

يعتمد هذا النوع الإستاتيكي أو الإلكتروني الطابع وهو المتجدد باستمرار بناء علي التطورات اليومية في تكنولوجيا التصنيع – بل وقد تقاس بالساعات - علي المكونات الإلكترونية المختلفة الجديدة والناشئة لأول مرة – مبتكرة – وهي عادة الداخلة في تركيب وتشغيل الدوائر الكهربية أو الإلكترونية علي وجه التحديد مثل الترانزيستور والصمامات الحرارية thermo-ionic والمكبرات المغناطيسية magnetic amplifiers وكذلك الثايريتور مؤخرا مع تطبيقاته واسعة الإنتشار بجانب التطور الهائل والسريع في مجال الإلكترونيات عموما. جدير بالذكر أن هذا التطور في المجال الخاص بالهندسة الألكترونية لا يقف عند وسائل الوقاية فحسب بل يمتد ليطرق جميع أبواب الصناعة وقد شكل هجمة شرسة علي كل الموجودات الصناعية في جميع ميادين الحياه وسوف يصبح أكثر أهمية مع الجديد من الإكتشافات والإبتكارات.

6- النوع الكهرو ديناميكي electro-dynamic

يشبه أجهزة القياس measuring instrument بأسلوب الملف المتحرك moving coil كما يفضل أن يتم تصنيف هذه المتممات مع شكل الملامسات contacts الخاصة به فنجد التوزيع على النحو التالي:

أولا: متممات وحيدة الملامسات Single Contact Relays

عادة يعمل المتمم أو المرحل بناء علي أمر يصدر عن دائرة أخري فيقوم بتشغيل الدائرة التي هو جزء منها وهذا لا يتم إلا من خلال ملامسات حيث يقوم المتمم بتشغيل الملامس المختص بهذه الدائرة عندما تصبح مكهربة آليا وبالتالي يكون المتمم وحيد الملامس عندما يقوم المتمم بتشغيل ملامس واحد فقط وهو الذي يمكن أن ينقسم إلي أنواع أخري بدوره مثل:

1- ملامس مفتوح الوضع Normally Opened Contact

حيث يتم توصيل الملامس عند حدوث التغير في الوضع المقنن والذي عادة ما يكون مفتوح ويقفل عند مرور التيار الناتج عن وجود خطأ في الدائرة الأصلية (الشبكة).

2- ملامس مغلق عادة Normally Closed Contact

هذا النوع من الملامسات (المغلق دائما) علي عكس النوع السابق حيث يكون الملامس مقفلا في الوضع المعتاد ويفتح فور مرور التيار أو ظهور الجهد الناتج عن وجود قصر أو خطأ ما في الشبكة الكهربية.

ثانيا: متممات متعددة الملامسات Multi Contact Relays

تتباين نوعية المتممات ذات الملامسات العديدة بشكل كبير ويمكن تصنيفها إلي أنواع مختلفة كما نراها في الشكل رقم 1-8 حيث نري منها نفس النوعية السابقة بشكليها المفتوح أو المغلق بجانب إمكانية الخلط بين النوعيتين.

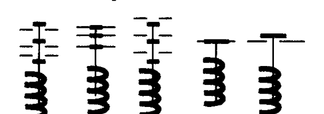
من الجهة الأخري يمكننا وضع موضوع الملامسات Contactor بصورة عامة (الجدول رقم 1 – 1) تبعا للتطبيقات الموجودة فعلا حيث إنها تشمل مقتنات ولها نقاط تلامس إحتياطية مقننة سواء كانت نقاط مغلقة أو مفتوحة أو كليهما، ويمكن تعريفها في السطور التالية:

1- الملامس الميكانيكي Mechanical Contactor

انه عبارة عن نقاط تعمل بالتلامس الميكانيكي ويجب أن تتوفر فيه الضغط المناسب بين طرفي الملامس وقدرته علي تحمل التيار المقنن دون أي عيوب في هذه النقاط ويقبل العمل تكراريا، ولكنه غير قادر علي قطع تيار القصر الكهربي، مما يستلزم إضافة وقاية له ضد القصر. إن هذه الملامسات تستخدم دائما في دوائر الوقاية وكذلك دوائر التحكم الآلي سواء للتشغيل أو الإستشعار أو الإنذار إلي غير ذلك من التطبيقات واسعة المدي.

2- نقاط التلامس المساعدة Auxiliary Contactor

هي عبارة عن نقاط خاصة بالتحكم Control Contacts حيث تزود الملامسات الميكانيكية الرئيسية بهذه نقاط التلامس التي تتغير حالتها من مغلقة إلي مفتوحة أو العكس، تبعا لحالة الملامسات الرئيسية كي تعمل كل النقاط معا. كما أنها تنحصر في نوعين هما:



وحيد مفتوح عادة / وحيد مغلق عادة / متعدد مفتوح / متعدد مغلق/ متعدد مختلط

الشكل رقم 1-8 : أنواع المتممات تبعا لشكل الملامس

النوع الأول أ (a):

يكون وضع الملامسات المساعدة متطابقا مع تلك الرئيسية (إما كل الملامسات الرئيسية والمساعدة مغلقة فتفتح أو العكس معا). كما تعرف باسم نقاط التلامس المفتوحة عادة.

النوع الثاني ب (b):

يكون وضع الملامسات المساعدة غير متطابقا مع تلك الرئيسية (عندما تكون الملامسات الرئيسية مغلقة تكون المساعدة مفتوحة والعكس بالعكس). كما تعرف باسم نقاط التلامس المغلقة عادة.

3- الملامس الكهرومغناطيسي Electro mechanical Contactor

يتم تحريك الملامسات الرئيسية وبالتالي المساعدة عن طريق مغناطيس كهربي بمجرد مرور التيار الكهربي بالملف المغناطيسي. عادة يكون هذا النوع بملامسات عادة مقفولة.

4- ملامس الهواء المضغوط Pneumatic Contactor

يتم تحريك ملامساته عن طريق نبطية تعمل بالهواء المضغوط دون التدخل الكهربي.

5- ملامس الهواء المضغوط الكهربي Electro-Pneumatic Contactor

يتم تحريك ملامساته عن طريق نبطية تعمل بالهواء المضغوط، ويضاف عليه أن تعمل الصمامات بالتحكم الكهربي.

6- الملامس بالسقاطة Latched Contactor

يزود هذا النوع من الملامسات بسقاطة، وهي التي يتم تعشيقها أو فكها من خلال إما التأثير الكهرومغناطيسي أو بالهواء المضغوط كما سبق التوضيح. في هذه الحالة يتم فتح الدائرة الكهربية مع فصل مصدر التغذية عن وسيلة التشغيل، إلا أن السقاطة تمنع الأجزاء المتحركة من العودة إ'لي وضع السكون الأصلي قبل التشغيل.

7- الملامس المفرغ Vacuum Contactor

فيه تكون الملامسات موجودة داخل غلاف مخلخل من الهواء.

الجدول رقم 1 – 1: مقننات الملامسات ثلاثية الطور 400 ف (3- Pole contactors type LC1-D)

مقنن المحرك	مقنن تيار	(أ) ، حرارة ≥ 55 ْم	ملامس إحتياطي	مقنن المحرك	مقنن تيار	حرارة ≥ 55 ْم (أ)	ملامس إحتياطي
ك. و.	3 طور	مفرد الطور	مفتوح/ مغلق	ك. و.	3 طور	مفرد الطور	مفتوح/ مغلق
4	9	25	1/- ، -/1	22	50	80	1/1
5.5	12	25	1/- ، -/1	30	65	80	1/1
7.5	18	32	1/- ، -/1	37	80	125	1/1
11	25	40	1/- ، -/1	45	95	125	1/1
15	32	50	1/- ، -/1	55	115	200	
18.5	38	60 / 50	1/1 ، 1/- ، -/1	75	150	200	

الجدول رقم 1 – 2: مقننات الملامسات وشروط التشغيل للملامسات تبعا للنطاق المخصص

الوضع	النطاق	نسبة تيار القطع والقفل إلي التيار المقنن	معامل القدرة	زمن الفصل ث
شروط القفل والقطع	AC-1	1.5	0.8	تخضع للجدول التالي
	AC-2	4	0.65	
	AC-3	8	0.45 للتيارالمقنن حتي 100 أ ، و 0.35 للتيار المقنن أكبر من 100 أ	
	AC-4	10		
	AC-7b	8		
	AC-8a	6		
	AC-8b	6		
	AC-5a	3	0.45	
	AC-6a	يستخدم محول أو تبعا للنطاق AC-3		
	AC-6b	إجراء أختبار لدوائر الأحمال السعوية مع إضافة التأثيرات الحرارية		
	AC-7a	1.5	0.8	تخضع للجدول التالي
	AC-5b	1.5	الأختبار بمصابيح كأحمال	60
شروط القفل	AC-3	10	قفل (ث)	10
	AC-4	12	0.05	10

إن وضع السكون للملامس Rest Position هو ذلك الوضع الدائم عند إختفاء مصدر التغذية. عموما نجد ان مقننات الملامسات محددة بالمواصفات القياسية وأيضا المحلية بحيث تعطي كافة المعاملات الفنية الهامة في التعامل والأداء التقني للتشغيل علي أكمل وجه وهو ما نري منه نموذجا للملامسات ثلاثية الطور لجهد التوزيع 400 ف كما جاءت بالمواصفات الدولية. من ناحية أخري نجد أن درجة الحرارة

هامة في إختيار وتشغيل المتممات بجانب مرات الأداء علي كامل التيار أو أكثر في بعض الحالات وهو ما يظهر من القراءات الواردة في الجدول رقم 1 – 1 والذي وضع للملامسات علي شبكة التوزيع لأي لدي المستهلك العادي عموما.

من الضروري أن نذكر شروط القفل والقطع لنطاقات الإستخدام لكلا من البادئات الميكانيكية والملامسات علي حد سواء، حيث يكون زمن الفصل لكل الحالات مساويا 50 ملي ث. كما يمكن إختصاره بشرط إستقرار قطع التلامس المتحركة في أماكنها تماما قبل إعادة الفتح. كذلك عدد دورات التشغيل أيضا ثابتا ويساوي 50 دورة. علي الجانب الثاني نجد أن نسبة الجهد المستعاد إلي المقنن للتشغيل هو عادة 1.05، كما يجب أن تختبر ملامسات في دائرة ملفات العضو الدوار علي تيار يساوي 4 أضعاف التيار المقنن للتشغيل وعلي معامل قدرة 0.95. أيضا يجب تحقيق شروط القفل للملامسات النطاقين AC-3 و AC-4 حيث تجري إختبارات القفل والقطع بشكل منفصل تبعا لشروط التصنيع كما يسمح بتجاوز ±20 % في نسبة الجهد عند القفل. أن نطاق التشغيل للملامس يمثل عنصرا أوليا للتعامل في الفصل والتوصيل كما نراه في الجدول رقم 1 – 2.

الجدول رقم 1 -3: النطاقات النمطية لكلا من البادئات والملامسات الميكانيكية مع التيار ذو المتردد تبعا للمواصفات القياسية

النطاق	الإستخدام النمطي	الملاحظة
AC-1	احمال غير حثية – حثية خفيفة – فرن بمقاومة	
AC-2	بادئ لمحرك بملفات ملفوفة	
AC-3	بادئ لمحرك قفص سنجابي وفصل مصدر التغذية أثناء الدوران	يسمح أحيانا للزعزعة أو عكس التغذية أثناء الدوران بمرات قليلة زمنيا بحد أقصي (5/ق + 10/10ق)
AC-4	بادئ قفص سنجاب وعكس مفلجئ لتتابع الأطوار	
AC-5a	تغذية دوائر التحكم لمصابيح التفريغ الكهربي	
AC-5b	دوائر المصابيح التوهجية	
AC-6a	المحول الكهربي	
AC-6b	تغذية مجموعة مكثفات	
AC-7a	الأجهزة المنزلية الحثية خفيفا	تتبع المواصفات
AC-7b	المحركات بالأجهزة المنزلية	
AC-8a	وحدة معدات التحكم في ضاغط التبريد محكم الغلق بزر يدوي إعادة ضبط إعتاق زيادة الحمل	تشمل محرك وضاغط مغلفين بدون عامود إدارة بارز أو مانع تسرب لزيت تزييت العامود حيث يدور في وسط التبريد
AC-8b	مثل البند السابق إضافة إلي أن تود بإعادة إعتاق آلي	

من جهة أخري تحدد المواصفات القياسية الدولية نطاق الأداء بالمسميات والرموز الدولية المجدولة في الجدول رقم 1 -3 حيث تنتشر هذه الحدود علي المدي المتسع لأداء الدوائر الكهربية. ذلك أن العلاقة مع الدوائر الكهربية الفرعية لدوائر المحركات وغيرها، كما أن هذه النطاقات النمطية تخدم كلا من البادئات والملامسات الميكانيكية معا في دوائر التيار المتردد عموما.علي الجانب الثاني نجد أن الملامسات تتعامل علي مدي مقنن لقيمة التيار في كل الأوضاع والحالات المختلفة كما هو محدد في الجدول رقم 1 – 4 حيث نري حدود التيار المار بالملامس ومدي إعتمادية زمن فصل هذا التيار علي مقنن الملامس.

ثالثا: طرق تشغيل الملامسات في دوائر الوقاية
Methods of Contactor Operation

جدير بالذكر أنه تبعا للمواصفات القياسية تتمثل طرق تشغيل الملامسات في ثلاث وسائل كما جاءت دوائرها الكهربية في الشكل رقم 1 – 9 وهي:

1- التوالي Series Sealing

يستخدم في هذه الدوائر والخاصة بأوامر الفصل القواطع المساعدة بالطابع المفتوح عادة وهو الرقيم برقم 1 في الشكل رقم 1 -9 حيث يقوم المتمم بتشغيل التلامس الذي يغذي دائرة التيار المستمر ليعمل القاطع المساعد رقم 1 وهو الأمر المبسط ليكون التشغيل غلي التوالي بالدائرة المعنية (الشكل رقم 1 9 (أ).

2- التوازي Shunt Reinforcing

يأتي التعامل مع هذا الطراز كما هو موضح بالشكل رقم 1 – 9 (ب) حيث يعمل المتمم علي توصيل الملامس الذي يكون علي فرع من التوازي لدائرة أمر الفصل (التيار المستمر).

3- المزدوج Series Shunt

يتم التشغيل لدائرة الفصل بالتيار المستمر تبعا لكلا من الطريقتين السابقتين مجتمعين معا فنجد الشكل رقم 1 – 9 (ج) قد جاءت بالدائرة الكهربية المعنية والتي تعمل علي وصول الأمر إلي المفتاح المساعد في دائرة الفصل.

الشكل الثاني: التصنيف تبعا لنظرية التشغيل

في هذا التقسيم نتجه إلي تصنيف طرق تشغيل المتممات أي نظرية تشغيل المتممات أو المرحلات بشكل علم لأنه سوف يختلف عن سابقه، ومن ثم نحدد أهم هذه الأنواع علي الشكل:

+ متمم 1 TC -
(أ) أسلوب التوالي

(ب) أسلوب التوازي
+ متمم 1 TC -

الشكل رقم 1 – 9

(ب) الأسلوب المزدوج
+ متمم 1 TC

1- النوع المحدد للقيمة الدنيا under current

متمم ما أن يعمل أو يحدد القيمة الأدنى لأي من القيم الكهربية المطلوبة (تيار – جهد – قدرة – زاوية) حتي يندرج تحت هذا الإطار نوعا، كي يعطي أمرا ما لتشغيل دائرة كهربية أخري.

2- النوع محدد لقيمة الأقصى *over current*

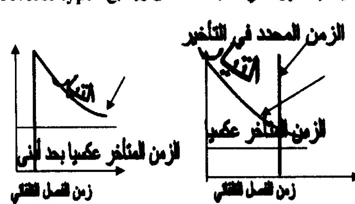
هو المتمم الذي يحدد القيمة الأقصى لأي من القيم الكهربية المطلوبة (تيار – جهد – قدرة – زاوية) مصدرا لأمر ما لتغيير الوضع كهربيا.

3- النوع المحدد لاتجاه ما directional type

إن هذا النوع من المتممات يقيس الكمية في اتجاه محدد أو يقيس القيمة إذا ظهرت في الاتجاه المعاكس ويصبح reverse type لذلك يستخدم لتحديد إتجاه إما للتيار أو لسريان القدرة.

4- النوع التفاضلي differential type

يستخدم هذا النوع من المتممات من أجل التفاضل بين شيئين أي قيمتين بحيث أن نستطلع الفرق بينهما إما حسابيا (جبريا) أو متجاهيا وذلك للتباين بين إما الزاوية بين جهتين أو بين كميتين في جهتين أو كلاهما معا بوضع الضبط المناسب لهذه المقارنة.



(أ) نوعي الزمن الثابت والتناسبي (ب) نوع الزمن التناسبي بحد أدنى

الشكل رقم 1-10 : أنواع الضبط الزمني

5- النوع الخاص بالمسافة distance type

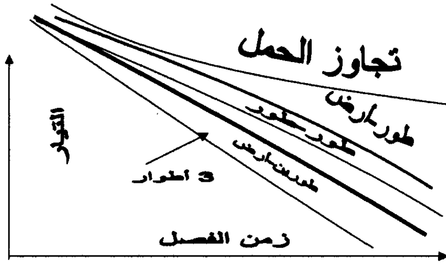
يقيس هذا النوع المقاومة من خلال النسبة بين قياس الجهد وقياس التيار عادة وهناك انواعا أكثر تطورا وتعقيدا عن ذلك.

جدول 1 - 4: العلاقة بين تيار القطع (بوحدات أ) وزمن الفصل (بوحدات ث) للتحقق من سعة القفل والقطع تبعا للمواصفات القياسية

زمن الفصل (ث)	تيار القطع أ	زمن الفصل (ث)	تيار القطع أ
80	600 < I ≤800	10	100> I
100	800 < I ≤1000	20	100 < I ≤200
140	1000 < I ≤1300	30	200 < I ≤300
180	1300 < I ≤ 1600	40	300 < I ≤400
240	I > 1600	60	400 < I ≤600

الشكل الثالث: التصنيف تبعا لزمن الفصل Tripping Time

تصنف أيضا علي شكل آخر غير ذلك السابق فنضع التنوع تبعا للوقت المستهلك في الفصل أو بالأحري الوقت المحدد اللازم لإتمام أمر الفصل وهو ما يعتبر واحدا من أهم المعاملات في هندسة الوقاية الآلية في الشبكات الكهربية المفردة عامة وفي الشبكات الموحدة بوجه خاص.



الشكل رقم 1-11 : التوزيع الزمني لوقت الفصل

1- الزمن الفوري instantaneous

لا يوجد فعلا الزمن الصفري ولكنه يعمل بسرعة في زمن صغير جدا يمكن اعتباره صفرا من الناحية العملية ويمثل الضرورة القصوى عند الحالات الطارئة والخطرة علي تشغيل المعدة تحت هذا النوع الزمني للوقاية.

2- الزمن المحدد في التأخير definite time lag

هذا النوع لا يعتمد علي قيمة التيار أو الجهد بل يوضع له وضع قيمة تشغيل وتعرف باسم setting (الشكل 1-10).

3- الزمن المتأخر عكسيا inverse time lag

يعتمد زمن تشغيل المتمم علي قيمة التيار المقاس ويتناسب مع هذه القيمة تناسبا عكسيا (الشكل 1-10).

4- زمن المتأخر عكسيا بقيمة أدنى Inverse definite time minimum lag

يعتمد هنا الفصل علي زمن يتناسب عكسيا مع القيمة المقاسة تبعا للضبط بشرط ألا يتم الفصل قبل الزمن الأدنى المحدد أيضا من قبل وقد تم الضبط عليه كأدنى زمن للفصل (الشكل 1- 10).

5- الزمن المرادف لنوع الخطأ Type of Fault

هذا الزمن يتوزع علي محور نوع الخطأ أو القصر ففي الشكل رقم 1-11 حيث يوضع علي أربع مستويات هي: المستوي السريع ويعبر عن القصر ثلاثي الأوجه سواء مع الأرض أو بدونها بينما الثاني يعبر عن القصر بين وجهين مع الأرض أما الثالث فيخص القصر مع الوجه المفرد مع الأرض، كما يأتي التشغيل غير المرغوب فيه وهو التشغيل غير العادي (زيادة التحميل) في مستوي رابع ويبطئ الفصل عن كل الحالات السابقة.

ثانيا: مصطلحات فنية EXPRESSIONS

تتعامل الجهات المختلفة في هذا المجال من خلال بعض المصطلحات الفنية الهامة والأساسية وسوف نتعامل معها باللغة الإنجليزية حسب المعمول به لأن الشائع منها بالعربية غير موجود وغير موحد مما يتسبب في تضارب في المعني بين مرجع وآخر أو تخصص وغيره، ولذلك نذكر منها طبقا للحروف الأبجدية ما يلي:

Actual transformation ratio: It is the ratio between actual primary to actual secondary values.

All or nothing relay: A relay intended to be energized by a quantity whose value is either higher than that at which it picks up (or lower than drop out).

Auxiliary relay: All or nothing relay is energized via the contacts of another relay.

Back up protection: To supply the main protection preventing any ineffective or to cover dead zones

Balance resistance (B. R.): To adjust the zero current in the relay coil

Biased relay: To modify the actuating quantity to more realistic value

Burden: The loading imposed by the relay circuits on the energizing power source in VA or W (D C) for a given specified condition (power consumption).

Characteristic angle: It is between vectors of two quantities applied to the relay.

Characteristic curve: It shows the operating characteristic for the interested quantity

Characteristic quantity: It characterizes the relay operation.

Characteristic impedance ratio (C. I. R): A value up to which the relay operates accurate.

Check protective system: To prevent tripping due to false signals

Composite Error: It is the RMS value for the difference between actual primary and secondary currents during a complete cycle.

Conjunctive test: A general test covering the secondary circuits and it may be:

Parametric test: For range values for each parameter.

Specific conjunctive test: To prove the performance for a certain application

Current error (ratio error): It is the percentage of actual difference between primary and secondary currents relative to the last one.

Current Transformer (C. T.): The measuring transformer for the ratio of the actual current in the network.

Dependent time measuring relay: It is for dependence on the tested quantity.

Discrimination: To specify the condition

Drop out: A relay drops out when it moved from the energized position to another un-energized one.

Drop out/pick up ratio: For limits of the values of operation and reset.

Earth fault protective system: To sense the earth faults only.

Earthing transformer: A 3 phase transformer to earth the neutral point of a system.

Effective range: The range of effective values of the aimed quantity.

Effective setting: The setting including the C T effects.

Electrical relay: It provides a sudden effect in one or more of circuits (secondary or tripping).

Electromechanical relay: It depends on the electromechanical forces.

Energizing quantity: This quantity operates the relay.

Excitation current: It is RMS secondary current deduced by the rated voltage in an open circuit.

Flag (Target): A usual device (spring or gravity operated) for the purpose of indication about the relay operation.

Independent time measuring relay: The specified time is independent inside the range.

Instantaneous relay: Operates within no time (and reset).

Inverse time delay relay: It has a time relative to value.

Inverse time relay with definite minimum time (I. D. M. T.): It has a minimum time to operate

Knee point e. m. f.: It is a sinusoidal applied to C T secondary circuit and causes current increase 50 % of the knee value when EMF is raised by only 10 %.

Maximum Torque Angle: It is the maximum value, corresponding to the torque appeared on a rotating disk

Main protection: The main secondary circuit responding to faults.

Measuring relay: An electrical relay intended to switch when the value measured is accurate.

Notching relay: It switches in response to a specific number of impulses.

Operating time: Time between the application of characteristic till the relay operates.

Operating time characteristic: A curve chart with operating time.

Operating value: The limiting value to act the relay. This value can be torque or force or current.

Over current factor: The ratio of rated short time current to rated primary value.

Overshoot time: It is the difference between the operating time of a relay and the maximum duration of the value of input energizing quantity.

Over reach: It is a value when a relay operates at less than required.

Pick up: It means the change to an energized condition, causing the closing for the contacts of a relay.

Phase angle error: It is the angle between primary current vector and the reverse vector of the secondary one. (for VT or CT)

Pilot channel: It is wires for connections in protective schemes.

Potential Transformer (P. T.): It a transformer to measure the voltage at a network. It can be expressed too as Voltage transformer (V. T.).

Protected zone: The protected portion in a network.

Protective gear: All equipment (relays, transformers, ..)

Protective relay: A tripping device.

Protective scheme: The coordinated arrangements for the production of one or more elements of a power system.

Protective system: A circuit or more for protection the network

Rated accuracy limit primary current: It is the highest value of primary current to limit the composite error according to the manufacture plate.

Rated burden: It is the rated value determined by the designer to give the required accuracy.

Rated primary current: It is the specified value for the full load condition for CT or VT.

Rated short time primary current: It is the RMS component to withstand for operation.

Rated secondary current: It is the designed main plate value.

Rated transformation ratio: It is the ratio between nominal primary to secondary value (CT or VT).

Rated saturation factor: The ratio primary saturation to the rated value.

Rated saturation primary current: It is the highest value of primary current to maintain the accuracy.

Rating: A combination of protective gear to secure a system.

Resetting value: A value to return the initial position.

Residual current: Algebraic sum of line currents.

Residual voltage: That above but for voltages.

Restraining value (Torque or Force): It is the value required to close the contacts of a relay.

Seal in Coil: It is the value which does not allow the relay contacts to open when the current is flowing through.

Setting: Limiting values (characteristic or energizing) to operate the relay.

Stability: A stable operation under all conditions.

Stability limits: The value of RMS current to change the protective scheme into unstable one.

Starting relay: A unit relay responding to abnormal conditions to initiate the process of switching signal in the secondary circuit.

Static relay: It is an electronic circuit to respond a certain value measured.

System impedance ratio (S. I. R.): It is a source network impedance / protected zone impedance.

Through fault current: The current flowing through a protected zone to a fault beyond that zone

Time delay: Time lagging the process of tripping.

Time delay relay: A clock relay to lag the process of action.

Tripping Coil (T. C.): The coil, which gives the order for tripping the circuit.

Under Reach: It expresses that the relay does not operate at a faulty condition.

Unit electrical relay: A single relay used alone or in combination.

Unit protection: It operates only for fault cases.

Unrestricted protection: A protection system with no clearly defined zone and achieves selective operation only by time grading.

الجدول رقم 1-5: معادلات التيار في حالات القصر

نوع قصر	تيار موجب I_1	معوقة موجبة Z_1	الدائرة المكافئة
ثلاثي الطور	$E/(Z_1+0)$	0	Z_1, I_1, E
طور - أرض	$\frac{E}{(Z_1+Z_2+Z_0)}$	Z_2+Z_0	I_1, I_2, I_0, Z_1, Z_2, Z_0, E
طور - طور	$\frac{E}{(Z_1+Z_2)}$	Z_2	I_1, I_2, Z_1, Z_2, E
طورين - أرض	$\frac{E}{Z_1+\frac{Z_2 Z_0}{Z_2+Z_0}}$	$\frac{Z_2 Z_0}{Z_2+Z_0}$	Z_1, I_0, Z_0, I_2, I_1, Z_2, E

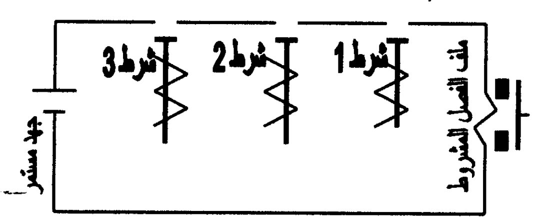
يتم التعامل مع هذه المصطلحات expressions باللغة الإنجليزية حتى لا يحدث تداخل في المعاني ومع ذلك سوف نجتهد في وضع العبارات العربية المناسبة لها لأنها تتغير من فرد إلي آخر ومن كتاب إلي غيره بالرغم من تواجد أغلب المصطلحات بشكل موحد عن طريق المجمع العربي، ويمكن رجوع السبب إلي عدم تداول اللغة العربية باستمرار في جميع المجالات خصوصا مع التقدم العلمي الغربي السريع والذي يحتاج إلي مواكبة مستمرة.

جدير بالذكر أن نضع هنا مع هذه المصطلحات أحد المصطلحات الفنية اللازمة للشرح من حيث المبدأ في شكل الدائرة الكهربية إذا ما كانت هناك شروطا متعددة من الواجب توافرها لتشغيل المتمم وهو أيضا من الأسس المتبعة في دوائر التحكم control circuits بشكل عام ولذلك يعرض الشكل رقم 1-12 الدائرة العامة general circuit لتواجد الشروط في أداء عمل تلقائيا.

كما نضيف إلي المصطلحات الفنية تجميعا رياضيا بالدوائر المكافئة equivalent circuits في حساب تيار الخطأ faulty currents في شكل مبسط simple form ومجدول tabulated باعتبار أن هذا العمل الرياضي mathematical analysis قد سبق التعامل معه ونضعه في جدول كملخص لأهم ما سوف نضطر للحاجة إليه أثناء دراسة دائرة ما من أجل وضع أسس ضبط the basic setting الوقاية اللازمة لها (الجدول رقم 1-5).

1- 5: شبكات الطاقة المتجددة

ELECTRIC SOURCES WITH RENEWAL ENERGY



الشكل رقم 1-12 : الدائرة المبسطة للشكل العام لربط شروط الفصل

نهتم اليوم بالطاقة الجديدة والمتجددة لتوفير المخزون من الخامات التقليدية لإنتاجها مثل البترول والفحم وهكذا كان علينا اللجوء إلي الاعتماد علي تلك الطاقة المتجددة كلما كان متاحا ولكن لا بد من الاهتمام بالناحية الاقتصادية وألا نغالي في استخدامها عند ارتفاع سعرها ، وهذا يجعلنا نتعرض إلي واحدة من النقاط الهامة علي ساحة تغذية المعدات والمهمات الكهربائية بالطاقة للحصول علي ما نبغيه بأقل تكلفة. من الناحية الأخرى تأخذ الطاقة الجديدة والمتجددة المبادرة للحل الأمثل عندما يكون الاحتياج للطاقة في المناطق النائية والبعيدة عن تواجد الشبكات الكهربائية وحدود استغلالها عند الأطراف الاستهلاكية ولهذا يصبح موضوع المقال هاما ويفرض نفسه علي الساحة بشكل عصري وبنظرة موضوعية. من هذا المنطلق نتجه إلي وضع المفاهيم المبسطة لكيفية التعامل مع هذه النظم المستحدثة حتي يتمكن المستخدم من الاعتماد عليها بالأسس السليمة كي نعطي له المقاييس التي توضع في الاعتبار عند الاختيار وبذلك نعي ماهية الفروق بين النظم والاحتياجات خصوصا في المناطق النائية والتي تظهر معها هذه الضرورة. جدير بأن نبين المصادر المختلفة الممكنة في تلك النظم كما هو مبين فيما بعد.

أولا: مصادر التيار الكهربائي من الطاقة الجديدة والمتجددة Sources

طاقة الرياح → مولد تيار مستمر → الشبكة المحلية

أ) التغذية من طاقة الرياح

طاقة شمسية → بطارية تيار مستمر → الشبكة المحلية

(ب) التغذية من الطاقة الشمسية

الشكل رقم 1 - 13: أسلوب تغذية الأحمال من الطاقة المتجددة

نتناول أنواع مصادر التغذية الكهربائية في المناطق النائية عند الاعتماد علي الطاقة الجديدة والمتجددة (الشكل رقم 1- 13) حيث تظهر التغذية علي أطراف مولد تيار مستمر أو علي أطراف بطارية وفي الحالتين تتبع الشبكة الكهربائية نظام التيار المستمر وهو ما يماثل تلك الأنظمة المتبعة في السيارات ويكون الجهد هو 12 فولت مستمر ويكون الاستهلاك في أضيق الحدود وبالتالي تخضع كل المكونات للجهد المقنن فيها وهو ما يختلف عن الشبكة الاستهلاكية المعتادة والتي تعمل علي الجهد 220 فولت تيار متردد. من هنا نجد أن الشبكات الكهربائية المحلية في مثل هذه الحالات تتنوع في ثلاث محاور هي:

1- شبكات التيار المستمر D C Networks

هي تلك التي سبق شرحها وهي بسيطة ولا تحتاج إلي المزيد لأنها تتطابق تماما مع تلك الشبكات المستخدمة في السيارات والطائرات والسفن وتمتاز بأنها مستقلة بذاتها ولا تعتمد علي شبكات أو مولدات أخري بينما يعيبها تلك المهمات المستخدمة والتي لن تصلح عند الربط مع الشبكة الموحدة مستقبلا.

2- شبكات التيار المتردد A C Networks

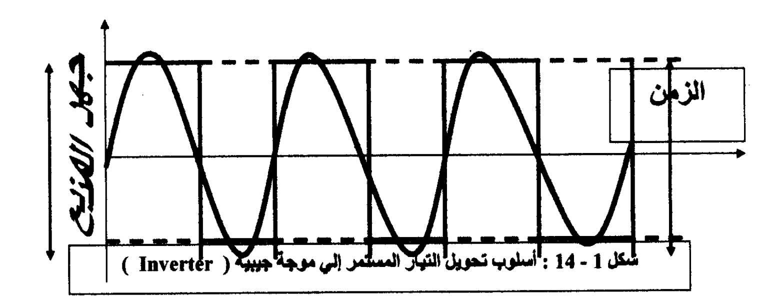
تظهر من هذه المشكلة أن جميع المعدات التي ستستخدم في هذه الشبكات ستصبح غير صالحة عند التعامل مع الشبكة الكهربائية المعتادة إلا إذا تم الإبقاء علي نفس الأوضاع دون تغيير وقامت الشركات المتخصصة بتعديل الأوضاع وقامت علي إيجاد النظم المعتادة 220 فولت متردد من هذه الطاقة المتجددة وذلك من خلال نظم تحويل التيار المستمر إلي متردد (الشكل رقم 1- 14) وهي نظم معروفة وتقليدية ومنها محطات كاملة للربط بين محطات وشبكات التيار المتردد وتلك التي تعمل بالتيار المستمر حيث يتم تقطيع التيار المستمر إلي موجات مربعة ثم إلي موجات جيبية ونحصل علي المطلوب حتى تكون المعدات مقننة مع تلك المعتادة في الشبكات الكهربائية ولا نحتاج إلي أي تعديل عند الربط معا أو عند وصول الشبكات الموحدة إلي الموقع النائي.

3- الشبكات المختلطة العمومية Mixed Networks

وجدت هذه النوعية لتلبية الاحتياجات التي ظهرت علي الساحة خصوصا وأنه يوجد البعض من المتعاملين فيعتمد علي الطاقة المتجددة لوقت ليس بالطويل ثم تأتي الحاجة عند الربط مع الشبكة الموحدة خصوصا في تلك الدول ذات النمو السريع فيكون لزاما علينا أن نضع في الاعتبار عند بناء الشبكة المحلية بأن تكون صالحة للحالتين ومن هنا ظهرت الشبكات المختلطة وهي التي تصلح للتيار المستمر 12 فولت وأيضا للتيار المتردد المعتاد 220 فولت، وبالرغم من أنها معيبة إلا أن نسبة الاعتمادية فيها عالية وتضاهي كل الاحتياجات ويفضلها الكثيرون من العملاء في هذا الحقل.

ثانيا: خصائص الشبكات الكهربية
Properties of Electric Networks

تتباين بذلك أنواع الشبكات الكهربائية في ثلاث مناطق هي تلك المبين في الجدول رقم 1 – 6 حيث تظهر الفروق بينها في بعض النقاط المحددة بشكل مبسط ولكنها تخضع من حيث المبدأ للحسابات الاقتصادية مع احتساب عمر المعدات وقطع الغيار البديلة في الحسبان ، كما أن الربط بين الشبكة المحلية النائية والشبكة الموحدة يأخذ أشكالا وهي التي نراها في الشكل رقم 1 - 15 حيث تظهر البساطة في النوع الأول المبين في الشكل رقم 1 – 15 (أ) بينما نجد التنوع بين النظم من خلال التعامل مع أهمية الشبكة بالموقع.



شكل 1 - 14 : أسلوب تحويل التيار المستمر إلي موجة جيبية (Inverter)

ثالثا: الربط مع الشبكة الموحدة
Connection with United Networks

عملية الربط بين الشبكة المحلية والتي تعتمد علي الطاقة المتجددة والشبكة القومية الموحدة يأتي بعد فترة زمنية قد تطول إلي حدود السنوات أو العقود أحيانا ولذلك تتعرض العملية التخطيطية لإنشاء أي من أنواع الشبكات للحسابات الاقتصادية للشكل الأمثل لبناء أي من هذه الشبكات وبالتالي نحصل علي احتمالات أربعة للربط كما نشاهدها في الشكل رقم 1 - 15 ومنها حالتين لاعتماد الشبكة المحلية علي التيار المستمر فقط والباقي لحالة التحويل والتغذية بالتيار المتردد المقنن وهو الأكثر تكلفة وفي كل من الحالتين يوجد نوعان من الربط وهما إما الربط لمنبع التيار المحلي من جهة إلي الشبكة بينما تدخل الشبكة الموحدة مستقبلا من الناحية الأخرى أو الربط المباشر بين التوليد المحلي والشبكة الموحدة ليصبح الدخول علي الشبكة الاستهلاكية من نقطة واحدة في كل الأحوال وهو الحل الأفضل في كل الأحيان لأنه يشمل التغذية المدروسة ويسهل بالتالي عمل أجهزة الوقاية علي الشبكة.

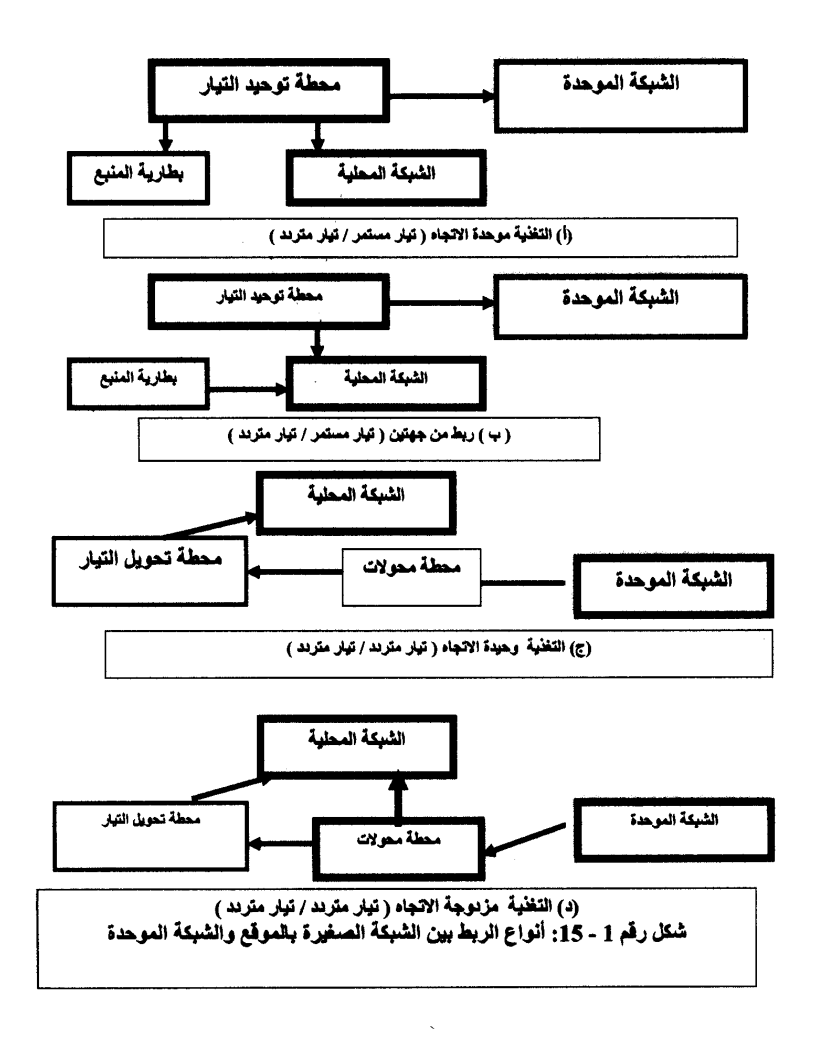
بناء علي هذا المنطلق ونظرا لما نلحظه علي الساحة الدولية من التكالب علي استهلاك الطاقة التقليدية بشكل متزايد يوما بعد يوم بالاضافة إلي ارتفاع سعرمصادر الطاقة التقليدية، نخلص إلي بعض الأسس الجوهرية والمتوقع ظهورها في العمل المستقبلي داخل

نطاق الشبكات الكهربية كي توضع في الاعتبار عند تصميم نظم الوقاية المختلفة. يصبح هذا ضروريا وهاما كي تستوعب هذه الشبكات الجديدة والتي بالضرورة سوف تنضم للشبكات الكهربية العاملة حاليا ونضع ذلك في نقاط مبسطة:

الجدول رقم 1 – 6 : الفروق الجوهرية بين الشبكات الكهربية المستخدمة

البند	شبكة التيار المستمر	شبكة التيار المتردد	الشبكة المختلطة
التوصيلات	أقصر ما يمكن	تبعا للكود	تبعا للكود
أدوات الإخراج	خاصة جدا	تبعا للكود	تبعا للكود
المهمات	مهمات خاصة	مهمات مقننة	مهمات مقننة أو خاصة
الربط مع الشبكة	صعبة وباهظة الثمن	سهلة ورخيصة	متوسطة الثمن

1- ضرورة الإنتفاع من تواجد الشبكات الكهربية الصغيرة المحلية في كل موقع مستقل والمعتمدة علي الطاقات الجديدة والمتجددة متي توافرت في المناطق البعيدة عن العمران مثل السفن والسيارات والطائرات والطرق الصحراوية والأبنية النائية والبعيدة عن العمران.
2- من الهام دراسة الجدوى الاقتصادية مع التوقع الزمني لتوصيل الشبكة الموحدة إلي موقع الشبكة النائي.
أنه من الجائز التعبير عن هذه النقاط بأن التجميع معا يفيد إلي حد كبير من النواحي التقنية أولا ثم من الناحية التنويعية في المصادر والمنابع المتباينة والتي تعطي الفرصة الأكبر لمواجهة القصور في شيء ما محدد دون غيره وهذا ينطبق ليس فقط علي الشبكات الكهربية بل يمتد أيضا إلي النظم الهندسية عموما ويقد يصل الأمر في النواحي الإقتصادية أيضا من أجل أستقرار الأوضاع الإقتصادية وتقليل معاملات الخطورة بقدر الإمكان وقد يصل أيضا إلي النواحي التموينية والغذاء وإلي الخصائص الإجتماعية أيضا.
إن أعمال الوقاية بصورة عامة تحتاج بالضرورة حساب التيارات والجهود وقت القصر كما تحتاج إلي المزيد من التحليلي لآثار القصر كل بنوعه ومكانه وزمانه، وذلك يدفعنا إلي التنويه والتأكيد علي أهمية دراسة طرق قياس وحساب التيارات والجهود المختلفة لكل الأطوار أو لأجزاء منها بل وفي المناطق المتباينة تأكيدا علي الحسابات النهائية والتي عليها يتم وضع قيمة الضبط لكل حالة.
أكثر الطرق إستخداما وتطبيقا في حسابات معاملات الشبكات الكهربية هي طريقة المركبات الثلاثية (الموجبة والسالبة والصفرية) ومن ثم يأتي تيار القصر وكذلك الجهد وتوزيعهما علي كل المواقع التي تتأثر بها مما يتيح الفرصة للضبط الفعال لكل متمم علي حدة وللشبكة ككل.



شكل رقم 1 - 15: أنواع الربط بين الشبكة الصغيرة بالموقع والشبكة الموحدة

محـولات القياس Measuring Transformers

عادة نحتاج لقياس الكميات الكهربية electric quantities في الدائرة الأساسية primary circuit وهي كبيرة مثل التيار current الذي قد يصل إلي مئات الكيلو أمبير والجهد voltage الذي يبلغ أيضا مئات الكيلو فولت فالتيار الكبير يسبب فقدا حراريا heat loss ضخما فمثلا إذا كانت مقاومة الأميتر 1 أوم لبلغت القدرة الحرارية 1 م. وات (1 MW) وهي قدرة كافية لصهر الحديد خصوصا وأننا نحتاج للقياس بصورة دائمة بدون غفلة من الزمن كما أن الجهد العالي HV يسبب الدمار لأي عزل أو يصعق الأفراد في حيز المجال النشط effective field له ولهذا كان علينا أن نلجأ إلي تمثيل الكميات الحقيقة real في الشبكة بكميات أصغر تلائم القياس وبدون أضرار hurts أو فقد loss ملموس في الطاقة قد يلحق بالأجهزة والمعدات والأفراد وبنفس الدقة المطلوبة دون أية أخطاء في القياس. من هنا تأتي أهمية محولات القياس وهي محولات الجهد VT ومحولات التيار CT حيث يستخدم كلا المحولين لأغراض ثلاثة أساسية هي القياس measurement كما يحدث لبعض الكميات الكهربية والقراءة reading مثل الأميتر والفولتميتر وغيرهما وكذلك من أجل التحكم في أو الوقاية protection من العيوب الطارئة (مثل القصر short circuit بكافة أنواعه متماثلة أو غير متماثلة - المتصلة بالأرض أم لا - أو تحميل زائد over load أو تغيير اتجاه سريان القدرة)، وهي من الأخطاء التي قد تحدث بكافة أنواعها أثناء تشغيل الشبكة بغرض الفصل التلقائي automatic tripping الفوري أحيانا. ففي القياس يجوز الحصول عليها قياسا في دائرة تحكم control circuit أو تسجيلا علي رسم بياني مثل القدرة والطاقة أو أيضا الأوسلوجراف أو الأوسولوسكوب. لذلك سوف نستعرض في شكل مختصر كلا من محولي الجهد والتيار (الشكل رقم 2-1).

2-1: محول الجهد Voltage Transformer

هكذا نحتاج إلي تمثيل الكميات الكهربية بذات الصفات وبالدقة المطلوبة حتى نستطيع إجراء عمليات الوقاية بشكل صحيح وبدون خطأ ولكن هذه المحولات تخضع لظاهرة اللاخطية في مناطق محددة من الخواص مما يضيع علينا نقل الكميات وتحويلها بالدقة المطلوبة سواء أثناء التشغيل العادي أو في الحالات الانتقالية (الفجائية) وتؤثر في وقت الفصل للمتمم مما يجعلنا نؤجل عملية أمر الفصل إلي ما بعد ذلك كي تستقر القيمة تحت القياس ، ويتسبب القلب المغناطيسي عموما في جميع أنواع المحولات بهذه الظاهرة، وبالرغم من ذلك ففي بعض الحالات يلزم الفصل الفوري دون انتظار وأثناء الفترات الفجائية.

يعطي الشكل رقم 2-1 الدائرة المكافئة equivalent circuit عموما لمحولات القياس بنوعيها حيث يعتبر محول الجهد كمحول قدرة بالقدرات الصغيرة جدا ويختلف في التصميم للحالتين بينما محول التيار يمثل الأميتر ammeter في الدائرة وهذه الدائرة المكافئة تعبر عن الناحية الثانوية secondary للملفات بينما الجهة الأولية primary تعطي بالنسبة 1:1 ويعرض الشكل رقم 2-2 الرسم المتجه vector diagram لمحولات الجهد، ويظهر خطأ error في القياس بجهتين، سواء كانت بهدف القياس أو الوقاية، الأولى هي القيمة value بينما الثانية تصبح الزحزحة في الزاوية phase displacement.

الشكل رقم 2-1 : الدائرة المكافئة للمحول

أولا: تصنيف محولات الجهد VT Classification

توضع محولات الجهد VT بشكل عام في التصنيف التالي:

النوع الأول: محولات كهرو مغناطيسية Electromagnetic VT

تشمل هذه النوعية شكلين جوهريين منها وهي:

1- محولات عادية مفردة المرحلة normal VT

هذا المحول هو النوع الشائع استخداما ويتواجد بكثرة في كل المحطات ولكنه أيضا ينقسم إلي:

(أ) محولات لها قلب حديدي منفرد لكل وجه Single core single phase

تمثل أكثر الأنواع تواجدا في الشبكات عموما وتستخدم في الوقاية ما عدا حالات الوقاية بقيمة الجهد المتبقي residual.

(ب) محولات ثلاثية الوجه وحيدة القلب 3 phase single core

تتواجد مع الجهد المنخفضLV مثل شبكات التوزيع distribution وهي جيدة وصالحة للعمل إلا انه يلزم لها نوعان هما:

النوع الأول: محولات ثلاثية الفروع (الأذرع) 3 limbs

هذا النوع له من الاستخدامات الأكثر في مجال القياس والتحكم كما يستخدم أحيانا في دوائر الوقاية عند التعامل مع دوائر التحكم الآلي وفي الاحالات الخاصة.

النوع الثاني: محولات خماسية الفروع (الأذرع) 5 limbs

هذا النوع يتميز بإمكانية تواجد الفيض المار في القلب المغناطيسي مما يعطيه الفرصة في قياس مجموع الفيض ثلاثي الوجه في قلب واحد وهو أساسي عند التعامل مع قيمة الجهد المتبقي كما سيظهر فيما بعد تفصيلا.

2- محولات متعددة المراحل الجهدية cascaded VT

هي محولات تصلح في معامل الاختبارات فائقة الجهد.

النوع الثاني: محولات سعوية Capacitive VT

تمثل محولات اقتصادية economic كلما ارتفع الجهد المقنن للشبكة وتقلل من المتاعب والمشاكل في الحالات الانتقالية transients وتتأثر بنبذبة المنبع الكهربي frequency وتتأثر أيضا بقيمة البردن burden المتصلة بالأطراف الثانوية وتنقسم عموما إلي:

1- محولات ذات أوضاع ضبط متعددة

هي محولات لها إمكانية الضبط المتباين حيث أن لها قيم قياسية مقننة للضبط ومنها 10 ، 25 ، 50 ، 100 ، 150 ، 200 ، 500 ف. أ.
وتعرف باسم stepped output transformers ويصلح هذا الطراز للجهد أعلي من 220 ك. ف. حيث يرتفع في المقابل تكلفة المحولات من النوع المغناطيسي السابق ويزداد الفقد فيه مما يعطي الميزة لاستخدام هذا النوع السعوي من محولات الجهد في شبكات الجهد العالي والفائق.

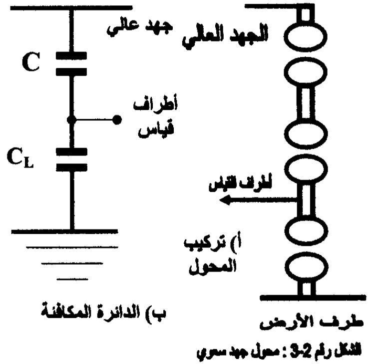
الشكل رقم 2-2 : الرسم المتجه لمحول الجهد

2- محولات للربط coupling VT

أنها محولات خاصة تعمل مثل المرشحات الكهربية والإلكترونية حيث أنها تختص بالعمل مع دوائر الكاريار carrier وهي المستخدمة عند أطراف المحطات لاستقبال الذبذبات العالية HF والمستخدمة في وسائل الاتصال أو القياس وجميعها تعمل بعزل كهربي وهو إما بزيت المحولات أو بالغاز العازل SF6 بالنسبة لمحول الجهد وقيمة الخطأ error الحادث فيه (σ) وهو ما يأخذ الشكل الرياضي:

$$\sigma = (K_s V_s - V_p) \times 100 / V_p \% \quad (2\text{-}1)$$

تظهر هنا أن قيمة الخطأ في حساب الجهد الثانوي يعتمد علي قيمة الجهد الذي يقاس فعلا بينما النسبة بين الجهدين المقننين nominal أو عدد اللفات لكل من الملفين الابتدائي والثانوي فهذه النسبة المئوية تكون موجبة إذا كانت القيمة تحت القياس أكبر من المقنن وهي تحتاج إلي إضافة ملفات للتعويض فتزيدها لتغطية العجز في قيمتها وتصبح موجبة لقيمة القدرة المقننة الصغيرة لدائرة الفصل بينما تتغير إلي سالبة مع القدرة الكبيرة، أما بالنسبة للزحزحة في الزاوية α بين الجهد الابتدائي ومعكوس الجهد الثانوي فتعطي قيمة موجبة عندما يكون الجهد الابتدائي هو المتأخر وعند الجهود الفائقة نحتاج إلي تقليل الفقد وتصغير الخطأ فنلجأ إلي استخدام السعة capacitance بدلا من الملفات كما نراها في الشكل رقم 2-3 حيث نجد أطراف الثانوي علي الثغرة الأولي gap وهو ما يقلل الخطأ بقدر كبير. تتواجد العلاقات الرياضية بين هذه الجهود تبعا للدائرة المكافئة علي النحو المبين في المعادلة:



الشكل رقم 3-2 : محول جهد سعوي

$$V_s = E_s - I_s (Z_s + Z_b) \quad (2\text{-}2)$$

$$V_p = E_p + I_p Z_p \quad (2\text{-}3)$$

من المعادلتين وللمحول المثالي ideal وهو ما يعني أن: - $I_e = 0$, $I_p Z_p = 0$, $K_s = V_p / V_s$ & Angle V_p & V_s = 180^o بينما للمحول الفعلي actual حيث (V_p لا تساوي $K V_s$) فنحصل على قيمة واضحة للخطأ كما جاء في المعادلة 2-1، ويظهر الخطأ في قياس الجهد (مبين في الجدول رقم 2-1) حيث تعطي القيمة للحدود بين 0.8 - 1.2 من الجهد المقتن وفي إطار المجال (0.25 – 1) من القدرة المقتنة مع معامل القدرة بقيمة 0.8، علاوة على ذلك الخطأ في أوقات القصر fault وبنفس القدرات المقتنة بالجدول 2-2 ولجهد ابتدائي من 0.05 إلي (V_f) حيث تنخفض القيمة بشدة ويبين الجدول رقم 2- 3 قيمة الخطأ المسموح به في محولات الجهد.

يأتي معامل الجهد voltage factor (V_f) أيضا ليمثل الحد الأدنى minimum للجهد العامل بنظام وحدات الوحدة per unit نسبة إلي قيمة الجهد المقتن للمحول full load وهو من المعاملات الهامة لتشغيل المتمم بطريقة سليمة ولتأكيد دقة القياس حتى في أثناء لحظات القصرduring short circuit، كما تتم زحزحة نقطة التعادل neutral point مع الأخطاء والتوصيل بالأرض خصوصا في النظم غير المؤرضة unearthed أو تلك المؤرضة من خلال معوقة impedance أو مقاومة مما يرفع الجهد علي الأوجه غير المصابة بالخطأ non-faulty phases ويسمح هذا المعامل للقياس السليم بفترة زمنية طبقا لما جاء في الجدول رقم 2-3.

الجدول رقم 2-1 : حدود الخطأ في محولات الجهد

مستوى الدقة	الخطأ في نسبة الجهد (%)	الزاوية α دقيقة	غرض الاستخدام	تطبيقات
0.1	0.1 ±	5 ±	قياس	في المعامل
0.2	0.2 ±	10 ±	قياس	في المعامل
0.5	0.5 ±	20 ±	قياس	في المصانع
1.0	1 ±	40 ±	قياس	في المصانع
3.0	3 ±	120±	وقاية	قياس ووقاية
5	5 ±	300 ±	وقاية	قياس ووقاية
10	10 ±	غير محددة	جهد متبقي	متمم اتجاه

الجدول رقم 2-2 : حدود الخطأ الإضافية لمحولات الجهد في دوائر الوقاية

مستوى الدقة	الخطأ في نسبة الجهدين (%)	الزاوية α (دقيقة)
3P	3 ±	120 ±
6P	6±	240 ±

من الجهة الأخرى ولضمان دقة القياس من محول الجهد يجب أن تكون معوقة الملفات بقيمة صغيرة إضافة إلي ضرورة تقصير أطراف الخروج leads من الملفات الثانوية تقليلا لهبوط الجهد voltage drop مشيرا إلي أهمية تقصير مسارات أسلاك التوصيل في دوائر محولات الجهد بشكل رئيسي.

الجدول رقم 2-3 : الحدود القصوى للفترة الزمنية لقياس الجهد بدقة

معامل الجهد	مقنن الزمن	طريقة توصيل الملف الابتدائي وحالة تأريض الشبكة
		بين الخطوط – بين نقطة ستار والأرض
1.2	مستمر	بين الخط والأرض – مؤرض فعال
1.2	مستمر	بين الخط والأرض – مؤرض فعال
1.5	30 ثانية	بين الخط والأرض في نظام غير مؤرض مع فصل تلقائي لخطأ الأرض
1.2	مستمر	بين الخط والأرض في نظام غير مؤرض مع فصل تلقائي لخطأ الأرض
1.9	30 ثانية	بين الخط والأرض في نظام معزول عن الأرض بدون فصل تلقائي
1.2	مستمر	لخطأ الأرض
1.9	8 ساعات	بين الخط والأرض في نظام معزول عن الأرض بدون فصل تلقائي لخطأ الأرض

نستطيع حماية ملفات محولات الجهد في دائرة الابتدائي باستخدام مصهر HRC fuses وذلك للجهد حتى 66 ك. ف. بينما يستعان بالمفاتيح الآلية miniature circuit breaker بدلا من ذلك في الثانوي مع الجهد الأعلى بشرط أن يكون أقرب ما يمكن من ملفات الثانوي لأن القصر في الثانوي يمرر تيارا أكثر عدة مرات من المقنن بينما في الابتدائي يكون صغيرا في ذات الوقت وغير ملموس القيمة وقد لا يحدث فارق ذو حساسية كافية في حالة القصر.

هنا نجد الملفات التي تخص المحولات هذه تتنوع في ثلاث أشكال هي:

1- الشكل (V-V)

هو ذلك المحول بالتوصيلات التي على شكل الحرف الإنجليزي V وهو بذلك يكون ملائما لقياس القيمة ولذلك يكون هو الخاص باستخدامات القياس

2- الشكل نجمة / نجمة (star- star)

هذا المحول مكتمل التوصيلات ولذلك يكون قادرا علي نقل الرؤية كاملة عن الشبكة الحقيقية (الدائرة الإبتدائية) ولهذا فهو الشكل الخاص بأعمال الوقاية

3- الشكل دلتا المفتوحة (delta-delta)

أنه المحول في حالة خاصة جدا وهو بهذا يكون المتخصص لحالات الوقاية بالجهد المتبقي (Residual Voltage).

نشير إلي أن هذه المحولات والتي تعمل مع أجهزة الوقاية تخضع للمقننات القياسية وتعطي كل منها مقننا للبردن وهو يزداد مع الجهد كما نراه في الشكل رقم 2-4. وبالتالي يتحدد مقننات محولات الجهد بعدد من النقاط الأساسية هي:

الشكل رقم 2-4: مقنن قدرة البردن مع جهد الخط العالي (ك. ف.)

315, 295, 275, 255, 235, 215, 195, 175, 155, 135, 115

25, 35, 45, 80, 100

أ) مقنن الجهد الابتدائي والثانوي *rated primary & secondary voltage*

ب) مقنن نبذبة المنظومة supply frequency

ج) مقنن البردن rated burden

د) مستوى الدقة class of accuracy

هـ) عدد الأطوار number of phases

و) مستوي العزل insulation level

ي) الأبعاد dimensions

تستخدم فكرة مجموع جهود الأطوار في النظم المتماثلة حيث يكون صفرا في الحصول علي قراءة محددة لقيمة الجهد الصفري والمعروف باسم الجهد المتبقي Residual Voltage والذي يشير إلي حدوث خطأ ما في الشبكة مما يستدعي الفصل التلقائي في حالات الخطأ لأحد الأطوار مع الأرض (single phase to earth) ويمكننا التوصل إلي ذلك الجهد (R. V.) في شكل الدلتا المفتوحة opened delta والتي تظهر في الشكل رقم 2-5. كما نحصل علي ذلك عمليا بتوفير محول له عدد 5 من Limbs بحيث يخصص 2 منهم في الجانبين بدون ملفات أوجه وذلك لمساعدة ظهور الفيض المغناطيسي لتواجد المركبة الصفرية من الجهد وبهذا نستطيع فعلا الإحساس بتواجد القصر في أحد الأطوار مع الأرض ومن ثم نعطي الأمر بالفصل تلقائيا.

R S T

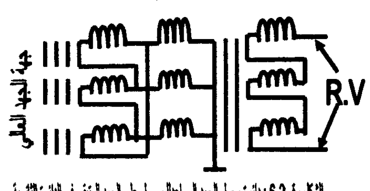
RV

شكل رقم2-5: الجهد المتبقي R.V

هذه الفكرة غير ممكنة مباشرة في الموقع حيث توضع جميع محولات الجهد فردية الطور single phase type ويقلب مستقل لكل منها وبالتالي لا يمكننا خلق مسارا لمجموع الفيض داخل هذا التوصيل نتيجة عدم وجود قلب مغناطيسي واحد للثلاث أطوار وبه الجانبين الخاصين بالفيض للمركبة الصفرية مما يتطلب في مثل هذه الحالات (وهي الواقع فعلا) أن يضاف محول جهد مساعد auxiliary VT علي الجهة الثانوية لمجموع المحولات بالموقع ومن ثم يوضع في تصميمه هذه الفكرة وبشرط أن يتم تأريض الملفات الثلاث الأولية حتى يستطيع الملف الثانوي (دلتا مفتوحة) من الاستشعار للجهد الصفري V_o ويبين هذا الوضع ما جاء بالشكل رقم 2-6.

في هذه الحالة يتم قياس المركبة الصفرية للجهد علي طرفي الدلتا بقيمة:

$$\text{Voltage across} = 3V_{so} = V_{sR} + V_{sY} + V_{sB} \quad (2\text{-}4)$$



الشكل رقم 2-6 : دائرة محول الجهد المساعد للحصول علي الجهد المتبقي في الدائرة الثانوية

يقابل ذلك من البداية ذلك الجهد الصفري في الملف الثانوي بقدر:

$$\text{Voltage main} = 3\,V_{po} = V_{pR} + V_{pY} + V_{pB} \quad (2\text{-}5)$$

يجب أن تخضع هذه القيمة لمبدأ النسبة بين القيمة والابتدائية علي

النحو:

$$K = 3\ V_{po} / 3\ V_{so} \qquad (2\text{-}6)$$

الفارق في هذه النسبة هو المتسبب في ظهور الخطأ والسابق الإشارة إليه. هذه الدوائر عموما تستخدم بكثرة في عدد من الحالات مثل:

أ) وقاية زيادة التيار/ أرض **Earth Over Current**

ب) التسرب الأرضى المحظور **Restricted Earth Leakage**

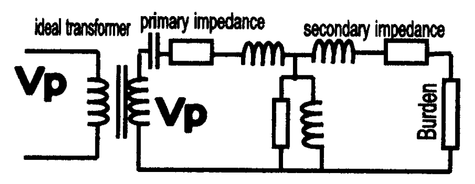
ج) خطأ الأرضي كاتجاه **Directional Earth Fault**

د) وقاية المسافة للتوصيل مع الأرض ***Distance Protection with Earth***

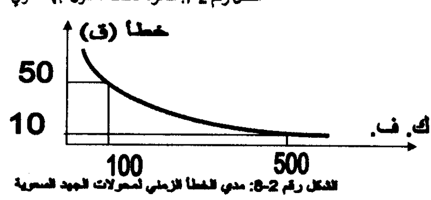
هـ) متممات الإشارة للخطأ مع الأرض **Signal Relay For Earth**

إن لم تؤرض ملفات المحولات الأصلية **ungrounded systems** أو تلك المؤرضة من خلال معوقة **impedance** فتظهر التوافقيات **harmonics** وبالأخص الثالثة في الدرجة 3^{rd} **harmonic** ويتم حسابها في الجهد المتبقي بدلا من القيمة الصفرية. بهذا نستطيع التغلب علي هذه الظاهرة مع هذه الدائرة . ومن الجهة الأخرى نجد حالة التيار المفاجئ **inrush current** في توصيل محولات القدرة كحالة انتقالية **transient** إضافة إلي بقاء جزءا من الفيض **residual flux** في الملفات الابتدائية قد يساعد علي مرور تيار **circulating current** في المتمم حيث قراءة أمبير لفة **ampere turn** تعلو عن تلك للمتمم **burden** ولهذا تؤخذ بعين الاعتبار هذه الحالات، ويضاف إلي هذا أيضا تلك حالات الرنين **resonance** مع محولات الجهد السعوية **capacitance VT** لتواجد السعة والملف **coil** في دائرة الوقاية فيساعد عل الرنين التوالي **series resonance** (الشكل رقم 2-7) وهذا المحول باهظ الثمن إلا أنه يمثل ضرورة مع الجهد الفائق كما هو موضح في الشكل رقم 2-8 فنري معدلات مجال الخطأ **duration error** تقل بشدة مع رفع الجهد وهو ما يميز نوع هذا المحول.

من ناحية أخرى يمكن التغلب علي مشكلة هذا النوع من المحولات في مجال الاختبارات علي وجه الخصوص بناء علي نظرية المحولات المتتالية حيث يتم التخلص من تواجد السعة عموما ويزاد مستوي من محملات متتالية بحيث يأخذ الملف الابتدائي لكل مستوي من الملف الثانوي للسابق له وتمتلك وزارة الكهرباء في مصر مثل هذا المحول في معمل فريد ووحيد وهو معمل الجهد الفائق بالطريق الصحراوي بين القاهرة والإسكندرية.



الشكل رقم 2-7: الدائرة المكافئة لمحول جهد سعوي



الشكل رقم 2-8: مدي الخطأ الزمني لمحولات الجهد السعوية

مثال 2-1:

في الشكل 2-9 أختبر توصيلة محول الجهد دلتا المفتوحة إذا كان الجهد الطزري للشبكة الكهربية بالكيلو فولت هو:

$$V_{AB} = 230 \angle 0^{\circ} \quad , V_{BC} = 230 \angle -120^{\circ} \quad , V_{CA} = 230 \angle +120^{\circ}$$

مقنن كلا من محولي الجهد هو 240 kV / 120 V

المطلوب هو إيجاد قيمة كلا من V_{ab} و V_{bc} و V_{ca} وذلك في كلا من الحالات التالية:

أ) نقاط القطبية كما علي الرسم

ب) نقاط القطبية تتحول من النقطة b إلي النقطة c.

الحل:

أ) نسبة التحويل هي

$$(N_1 / N_2) = 240\,000 / 120 = 2000 / 1 = 2000$$

$$V_{ab} = (1 / 2000)(230\,000 \angle 0) = 115 \angle 0 \quad V$$

$$V_{bc} = (1 / 2000)(230\,000 \angle -120) = 115 \angle -120 \quad V$$

$$V_{ca} = (1/2000)(230\,000\ \angle{+120}) = 115\ \angle{+120} \quad V$$

ب) في حالة تغيير القطبية

$$V_{ab} = 115\ \angle{0} \quad V$$

$$V_{bc} = -115\ \angle{-120} = 115\ \angle{60} \quad V$$

$$V_{ca} = -(V_{ab} + V_{bc}) = 199\ \angle{-150} \quad V$$

تتعرض محولات الجهد إلي بعض العيوب والأخطاء أثناء عملها ونضعها في نقاط مركزة للإيضاح في السطور القادمة:

1- عيوب في الدائرة الثانوية

الدائرة الثانوية تعتبر من أول وأكثر العيوب شيوعا لما ينتج عن كثرة التعامل معها سواء بالاختبار أو بالتشغيل أو بالصيانة ولها من التفتيش والمعاينة أيضا جزءا من الأسباب وبذلك يرتفع التيار بها مما يزيده بالتبعية في الناحية الابتدائية مسببا عمل المصهر لملف الابتدائي مما قد يعطل أداء العمل المطلوب أحيانا.

A
B
C
3 ϕ 230 kV
a
b
c

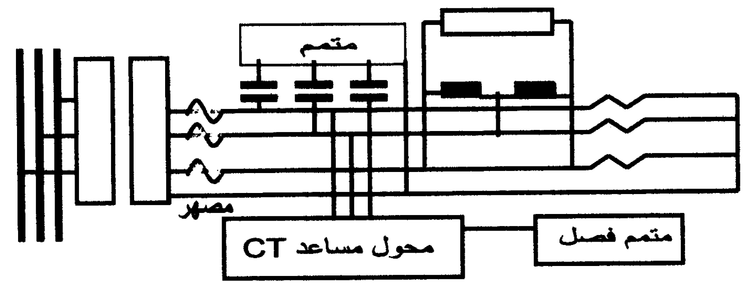
الشكل رقم 2-9: توصيلة الدلتا المفتوحة لمحولي "...

2- عيوب في الأجهزة العاملة بالدائرة الثانوية

الدائرة الثانوية لمحولات الجهد تحتوي علي العديد من الأجزاء تبعا لنوعية القياس أو دائرة الوقاية المختصة ولذلك تنحصر هذه الأجهزة في نوعين:

النوع الأول:

يشمل إما المتممات أو المكونات الكهربية الأخرى المشتركة بالدائرة ويظهر علي سبيل المثال من الشكل رقم 2-10 تلك الأجهزة ففيها مكثفات ومقاومات بجانب نفس المتممات بما فيها تلك المساعدة وهو ما يعطي فرصة لحدوث عيب إذا ما حدث كسر أو عيب في مكونات الدائرة ولهذا يجب التعامل مع أجزاء الدائرة بعناية بالغة.



الشكل 2-10: دائرة رمزية لتوصيل محولات الجهد ومكوناتها

النوع الثاني:

يشمل الأجهزة التي تقوم بالمقارنة بين الكميات في حالة محولات الجهد متعددة الملفات الثانوية

3- عيوب بالدائرة الابتدائية

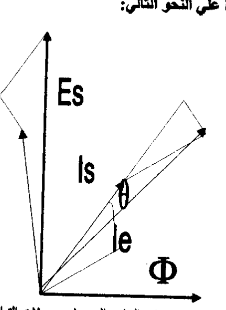
تظهر أحيانا بعض العيوب في الدائرة الإبتدائية لمحول الجهد وإذا ما كان زيادة للتيار فتتسبب مباشرة في عمل المصهر مما يؤدي إلي توقف العمل الخاص بالمحول وهذا يعتبر تعطيلا عن الأداء مما يقلل معامل الإعتمادية.

2-2: محول التيار Current Transformer

يقوم محول التيار CT بذات الخاصية السابقة لمحول الجهد VT ولكن يستبدل الجهد بالتيار كما أن الملفات الابتدائية primary winding هنا تختلف عن تلك لمحولات الجهد حيث تكون هنا لفة واحدة في المعتاد بينما تكون كثيرة وذات مقاومة عالية في محول الجهد كي يمر تيار ضئيل small current في الملف الابتدائي وهي تستخدم أكثر من ملف للجهة الثانوية فمنها ما نحتاجه للقياس measurement أو التسجيل recording ومنها ما يلزم دوائر الوقاية protective circuits وقد تكون أكثر من نوعية وقاية ويجب أن يخصص لكل منها ملف مستقل individual secondary winding.

في هذه الحالة يتم توصيل المتمم relay مباشرة داخل دائرة الملف الثانوي بحمله المقتن burden (شكل 2-1) منفردا وهذه الدائرة المكافئة تعمل طبقا لمتجهات التيارات والجهد الموضحة في الشكل رقم 2- 11 حيث يختفي من الرسم متجهات الجهد في الملف الابتدائي وهذا ما نستطيع إدراكه من قبل، وتمثل الزاوية θ بين تياري الابتدائي والثانوي قيمة زاوية الخطأ ويمثل التيار قيمة التيار المغناطيسي في الدائرة المكافئة كما موضح في الشكل 2-1. كما نستطيع الحصول علي ذات المعادلات برقم 2-2 و 2-3 والتي سبق الحصول عليها لمحولات الجهد لأن الدائرة المكافئة هي نفسها.

إضافة إلي ما سبق يمكننا تحديد بعض الأسس للتعامل مع هذه الدوائر ونضعها في نقاط محددة علي النحو التالي:



الشكل رقم 2-11 : متجهات التيار والجهد في محولات التيار

1- يتم تمثيل الدائرة المكافئة equivalent circuit بشكلها العام والموضح سابقا في الشكل رقم 2- 1 وذلك في شكل الطور الواحد single phase

2- معوقة الملف الابتدائي primary impedance كبيرة بالنسبة لتلك في الثانوي secondary وعادة ما تؤخذ كمقاومة resistance

3- فرعي both branches تمثيل التأثير المغناطيسي magnetic effect يدخلان في الاعتبار وبقيمة أقل عن تلك لمحولات الجهد VT

4- لا تؤثر قيمة مقاومة الحمل burden بشكل واضح في دائرة الملف الثانوي secondary circuit داخل نطاق التغير المحدد للتشغيل وعادة ما يؤخذ مجالا لعمل الدائرة كي نبتعد عن العيوب وإن لم يكن فعلي الأقل تقليل هذه العيوب أو تأخير حدوثها.

5- لا يجوز قطع interruption دائرة الملف الثانوي secondary circuit أثناء تواجد تيار للارتفاع الهائل في قيمة الجهد والتشبع saturation الناتج في الفيض flux بالقلب المغناطيسي.

6- يوجد خطأ error ليس فقط في قيمة التيار الفعلي actual current بل أيضا في زاوية الإزاحة phase displacement وذلك نتيجة تواجد التأثير المغناطيسي والخواص غير الخطية المصاحبة للعلاقة بين الجهد والتيار V/I characteristic في الملف الثانوي.

7- يمكن حساب قيمة الخطأ إذا عرف قيمة مقاومة حمل المتمم burden impedance ومعوقات التأثير المغناطيسي magnetic impedance

8- يجب ألا يزيد مقتن الملف الثانوي rating لمحول التيار عن ما يخص حمل المتمم burden بجانب ما قد يدخل في الدائرة معه

يلزم وضع محاور التعامل مع محولات التيار في دوائر الوقاية لدراسة خصائص الأداء:

المحور الأول: الخطأ Error

يعتبر الخطأ في قيمة التيار المحدد لتشغيل متمم ما من أهم المعاملات المؤثرة علي درجة فعالية الأداء وأي خطأ في هذه القيمة قد تنتج أخطارا لا حدود لها ولهذا يجب التعامل مع هذا النوع من الخطأ بدقة والبعد عن أماكن حدود الدقة ولهذا ينقسم الخطأ في دائرة الملف الثانوي كما يلي:

1- الخطأ في القيمة Value Error

يظهر الخطأ عموما نتيجة الفارق difference بين كلا من تيار الملف الابتدائي والثانوي وهو ما يعني التيار المغناطيسي magnetic current المار في فرعي المعوقة المغناطيسية أو المعروف باسم exciting current ويظهر في الجدول رقم 2-4 هذه القيمة لبعض من مستويات الدقة accuracy classes والتي تخص محولات التيار CT المستخدمة في مجال الوقاية protection والقيمة محددة بالنسبة المئوية لكلا من الاتجاهين الموجب (+) والسالب (-) وذلك في نطاق تغير قيمة البردن burden من 25 % وحتى 100 % حيث يمثل مجالا واسعا للتغير غير أنه هناك أكثر من تلك المستويات في المواصفات العالمية standard وبالرغم من ذلك فان هذه القيمة وحدها لا تكفي لتعريف الخطأ حيث يوجد أنواعا أخرى كما يتضح من البنود القادمة. هذا الخطأ يتم التعبير عنه بنفس السياق السابق لمحولات الجهد بالصورة:

$$\sigma = (K\ I_s - I_p) \times 100\ / I_p \quad \% \qquad (2\text{-}7)$$

هذه هي القيمة التي تحدد دقة الوقاية والأجهزة العاملة فيها.

2- الخطأ في زاوية الإزاحة phase displacement

يظهر هذا النوع نتيجة لتواجد التيار المغناطيسي في الفرع الحثي inductive branch ويكون صغيرا مع القيمة العالية لحمل المتمم الحثيinductive burden حيث يمكن اعتبار التيار والجهد في الملف الثانوي في ذات الاتجاه in phase في حالة معاملي القدرة الوحدة أو الصفري (كحالة تقريبية تبعا للقيمة الممكن إهمالها). يقدم الجدول رقم 2-5 تلك القيمة في الخطأ التي تتواكب مع البيانات التي وردت في الجدول رقم 2-4 للخطأ في القيمة فقط وبذلك يكتمل تعريف الخطأ وذلك لنفس المدى المعطي من قبل.

الجدول رقم 2-4 : حدود الخطأ في قيمة التيار لبعض محولات التيار

مستوي الدقة	من 10 حتي قبل 20	من 20 حتي قبل 100	من 100 حتي 120
0.1	0.25 ±	0.2 ±	0.1 ±
0.2	0.5 ±	0.35 ±	0.2 ±
0.5	1 ±	0.75 ±	0.5 ±
1	2 ±	1.5 ±	1 ±

مثال 2-2:

في الدائرة المكافئة (في الشكل رقم 2-2) ، يلزم إيجاد قيمة الخطأ وحدوده في الحالات المختلفة حيث محول التيار بمقنن بالنسبة 300 /5 أ والجهد 11 ك. ف. والبردن بقيمة 10 ف. أ.، أوجد التيارات المقننة والحدود الخاصة بتغير البردن (R_e =150 Ω ، x_e=50 Ω) - مقاومة الثانوي 0.2 Ω).

الجدول رقم 2-5: حدود الخطأ في زاوية الإزاحة لبعض محولات التيار لنطاق 25 - 100 % من البردن

مستوي الدقة	من 10 حتي قبل 20	من 20 حتي قبل 100	من 100 حتي 120
0.1	10 ±	8 ±	5 ±
0.2	20 ±	15 ±	10 ±
0.5	60 ±	45 ±	30 ±
1	120 ±	90 ±	60 ±

الحل:

من مقنن الجهد نحصل علي القيم في الطور الواحد وهي

$$= 11\ /\ \sqrt{3} = 6.35 \text{ ك.ف}$$

نحصل علي قيمة معوقة الابتدائي وهي = $Z_p = V_p / I_p = 6.35\ /300$

وهي بقيمة 2.21 Ω وتتحول هذه القيمة في الدائرة المكافئة بنسبة مربع نسبة التحويل فتصبح

$$Z = Z_p \times r^2 = 21.2 \times (300/5)^2 = 76.2 \quad k\Omega$$

أما مقاومة المتمم كمقاومة فقط نضعها بقيمة = 10 / مربع التيار المقنن= 10 / 25=0.4 Ω

يكون الخطأ أسوأ ما يمكن مع الحمل الحثي inductive burden فيصل إلي – 1.2 % وإذا كانت النسبة هي 2 : 120 برفع الخروج إلي 0.83 % وتاركا الخطأ الكلي بقيمة – 0.37 % وفي حالة الحمل الصفري zero burden يصل الخطأ إلي + 0.7 % إذا أهملت المعوقة الحثية leakage reactance للملف الثانوي فنجد أن مستوي الدقة يعتمد علي نسبة التحويل لمحول التيار كما في الجدول رقم 2-6.ويبين الجدول أن هذه القيمة ثابتة وتعتمد علي مستوي الدقة للمحول.

الجدول رقم 2-6: حدود الخطأ في القيمة مع تغير البردن من 50 إلي 100 %

مستوي الدقة	نسبة تحويل 50	نسبة تحويل 120
3	3 ±	3 ±
5	5 ±	5 ±

3- تعويض الخطأ turns compensation

يلزم توضيح أننا هنا بصدد ثلاث أنواع من معامل النسبة وهي علي النحو التالي:

النسبة العادية K_n = مقنن التيار الابتدائي / مقنن التيار الثانوي (2- 8)

نسبة اللفات K_t = عدد لفات ملف الثانوي/عدد لفات ملف الابتدائي (9-2)

النسبة الحقيقية K_{ac} = تيار ابتدائي فعلي/ التيار الثانوي الفعلي (10-2)

من هذه المعادلات الثلاث نحتاج إلي مزيد من الدقة وبيان تأثير كل منها، حيث يجب التقليل في قيمة الخطأ من خلال تقليل عدد لفات الملف الثانوي secondary turns بلفة أو اثنين لتعويض الزيادة المتوقعة في التيار بالدائرة الثانوية وتعويض التيار المغناطيسي الكلي فيقل الخطأ إلي قيمة صغيرة يمكن إهمالها neglecting كما في الدائرة الموضحة بالشكل رقم 2-1. أن التيار الفعلي وقت القصر يزداد بقيمة كبيرة عن المقنن لأنه يمر لفترة قصيرة وبالتالي نحتاج إلي تحديده بدقة بقدر الإمكان خصوصا وأن أسوأ خطأ يظهر مع البردن Burden الصغيرة بينما يظهر هذا أيضا النسبة لقدرتي البردن والمحددة بالمعادلة:

قدرة بردن / قدرة ضبط بردن=(تيارمقنن الثانوي/ التيار المضبوط للمتمم)^2 (11-2)

تلك البردن لها من المقننات التي يتم التعبير عنها من خلال:

$$Z_b = S_b/(I_s)^2 = \{R_b + j\,X_b\} = \{Z_b \cos\phi + j\sqrt{(Z_b^2 - R_b^2)}\,\sin\phi\} \quad (2\text{-}12)$$

حيث أن الزاوية ϕ هي الزاوية لمعامل القدرة الخاص بالبردن.

ففي حالة البردن الصغيرة نحصل علي تساوي تقريبي بين كلا من الجهد الخارج V والمسبب له EMF ويكون الخطأ أقل ما يمكن بينما مع القيمة الكبيرة يزيد الفيض المغناطيسي فيرتفع قيمة الخطأ لزيادة التيار المغناطيسي ولهذا السبب يجب أن تكون البردن كقيمة داخل الحيز المسموح به فقط.

4- الخطأ المختلط Composite Error

يكون الخطأ ممثلا رياضيا بالمعادلة:

$$Error = (100/I_p)\int^{T}\sqrt{(K\,i_s - i_p)^2}\,dt \quad (2\text{-}13)$$

من معني هذه المعادلة نضع الصيغة المبسطة لها بالصورة:

Composite Error = RMS secondary current (ideal – actual) (2-14)

والتي عادة تتواجد في التيار harmonicsهذه المعادلة تشمل الخطأ في القيمة وكذلك الزاوية بالإضافة إلي تواجد الموجات التوافقية نتيجة الموجات التوافقية ويزداد تأثيرها عند منطقة nonlinear والذي يتميز بالخواص غير الخطية exciting currentالمغناطيسي وبدون وجود لفا ت التعويض السابق leakage flux، كما أنه إذا ما أهملنا الفيض المتسرب CT في خواصsaturationالتشبع ذكرها في البند السابق فتؤول المعادلة السابقة إلي الشكل:

Composite Error =RMS Exciting Current×100/primary current (2-15)

المحور الثاني: الدقة في محولات التيار Accuracy of CT

هذه الدقة تتفرع إلي المستوي المحدد لها ومنها محدد الغرض ومنها ما هو أكثر من ذلك كما يلي:

1- مستوى الدقة Accuracy Class

يتم ترقيم مستويات الدقة لمحولات التيار تبعا للمواصفات القياسية الدولية وكلما زادت الدقة ارتفع سعر المحول لما يتمتع به من دقة في التصميم وقدرة أفضل علي الأداء فتوضع المحولات للإحساس بكميات عالية في مدى القصر وبالتالي تعمل عند تيارات عالية وأعلي بكثير عن تلك القيمة المقننة ولهذا يصبح ضروريا وضع حدود لهذه التيارات وهي ما تعرف باسم "Accuracy Limit Current" ويكون التعبير عنها بقيمة التيار المقنن في الملف الابتدائي أو بالقيمة المكافئة في الملف الثانوي وهي بالصيغة:

Accuracy limit factor = Accuracy Limit Current /rated current *(2-16)*

الجدول رقم 2-7: حدود الخطأ في زاوية الإزاحة لبعض محولات تيار

مستوي الدقة	قيمة تيار	زاوية إزاحة	خطأ مختلط (%)
5P	1 ±		5 ±
10P	3 ±	60 ±	10 ±
15P	5 ±		15 ±

تتحدد مستويات الدقة بالترقيم: (5P , 10 P , 15 P , 20 P , and 30 P) وهو ما يظهر بعضها تبعا للمواصفات القياسية الإنجليزية British Standard في الجدولين رقمي 2-1، 2-2، وهذا يؤكد علي أن التيارات المغناطيسية magnetizing currents هي المسببة لنوعي الخطأ سواء في القيمة error ratio أو في الزاوية Displacement error لأنها تعتمد علي قيمة

أمبير لفة AT الخاصة بالملف الابتدائي ونوعية القلب المغناطيسي فيه وقيمة المقاومة المغناطيسية reluctance في تلك الدائرة المغناطيسية وقد حددت المواصفات القياسية الدولية مستويات الدقة لمحولات التيار كما هو وارد كمثال في الجدول رقم 2-7 بعضا من هذه القيم المحددة لمحولات التيار عند 100 % من القيمة المقننة من البردن.

نستطيع فهم أن المستوى 30 مع بردن 10 ف. أ. يعطي إمكانية وصول تيار الثانوي إلى 9 ك.أ. أما بالنسبة لتيار القصر مع الأرض يكون الوضع عند 10 % والدائرة المفتوحة مع خطأ متصل بالأرض يصل إلى 100 مرة مثل إذا كانت عند وضع 100 % ولهذا نحتاج إلى عملية تعويض اللفات في الثانوي لمحولات التيار مع التيارات الهائلة الناتجة للقصر مع الأرض.

2- مستوى الدقة متعدد الغرض Class X CT

للوقاية من الخطأ مع الأرض ولغيرها من التطبيقات العديدة يجب الإشارة إلى أقصى EMF ناتج عن محول التيار وهو ما يظهر عند بداية التشبع حيث يقابل زيادة 10 % من الجهد بقيمة 50 % زيادة في التيار (الشكل رقم 2-12) وبهذا يتم تصميم محولات التيار للأغراض المتعددة والتي تعرف باسم Class X CT حيث تحتاج إلى تحديد قيمة تيار المغناطيسية عند نقطة بداية التشبع Knee Point ومقاومة الملف الثانوي).

الجزء الأول من هذا المنحنى بعد الصفر وحتى نقطة بداية الصفات الخطية الفعلية عند النقطة المسماة بالكعب ankle point وهي تبدأ بعدها المنطقة الخطية وحتى نقطة العنق knee point فتدخل منطقة التشبع غير الخطية وذلك في حالات الزيادة الهائلة للتيار وتنتقل نقطة العمل إلى منطقة الرقبة وتسبب زيادة في قيمة الخطأ ومن هنا يلزم الحفاظ على منطقة العمل في كل الحالات وحدود عمل الوقاية داخل المنطقة الخطية كي نحصل على الدقة المحددة مع عدم التعرض لخطأ أكبر من مستوى الدقة المقنن للمحول.

3- القطبية Polarity

تتحدد القطبية بين اتجاه التيار في الملف الثانوي نسبة إلى نظيره في الملف الابتدائي ونجد في الشكل رقم 2-13 ذلك الشكل المبين لاتجاه التيارات في كلا الملفين محددا نقطة البداية لكل ملف برقم 1 بينما تكون نهايات الملفات بالرقم 2 وذلك من الأوضاع الهامة عند توصيل أطراف هذه الملفات في الدوائر الوقائية وخصوصا مع حالات جمع التيارات أو المقارنة بينهم.

Exciting Voltage

10 %

Knee Point

50 %

Exciting Current

الشكل رقم 2-12 : علاقة التيار والجهد

Exciting Charateristics

مثال 2-3:

5 / 500 محول تيار له ممانعة ثانوية قدرها 0.5 Ω وله منحنى المغناطيسية المبين في الشكل والمطلوب حساب قيمة تيار الثانوي والخطأ في الحالات التالية:

أ) $X_L = 4.5\ \Omega$ و $I_1 = 400\ A$ (تيار الحمل)

ب) $X_L = 4.5\ \Omega$ و $I_1 = 1200\ A$ (تيار قصر)

ج) $X_L = 13.5\ \Omega$ و $I_1 = 400\ A$ (تيار الحمل)

د) $X_L = 13.5\ \Omega$ و $I_1 = 1200\ A$ (تيار قصر)

هـ) إذا كان تيار الفصل الفعال = 8 A أوجد إذا ما كان الجهاز الفعال سوف يتأثر بتيار القصر 1200 A مع معوقة بردن بقيمة $X_L = 13.5$ و $X_L = 4.5\ \Omega$

الحل:

أ) $E_2 = j\,(X_2 + X_L)\,\{(N_1 / N_2)\,I_1 - I_e\}$ ، $E_2 = 5\,(4 - I_e)$

هذه معادلة خط مستقيم تتقاطع مع المنحنى عند $I_e = 0.1\ A$ تقريبا

حيث أن $I_1 = I_2 + I_e = I_2 + 0.1 = 4\ A$

وبذلك يكون تيار الثانوي هو $I_2 = 4 - 0.1 = 3.9\ A$ أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة

$\sigma = I_e / I_1 = 0.1 / 4 = 2.5\ \%$

ب) الجهد الثانوي يصبح $E_2 = 5\,(12 - I_e)$ وهي أيضا معادلة خط مستقيم وبالرسم بالمثل فوق منحنى المغناطيسية يتقاطعان عند $I_e = 0.8\ A$ تقريبا ومن ثم يصبح التيار في الثانوي

$$I_2 = 12 - 0.8 = 11.2\ A$$

أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة σ يكون

$$\sigma = I_e / I_1 = 0.8 / 12 = 6.7\ \%$$

ج) في هذه الحالة نجد أن

الشكل رقم 2-13 : إتجاه التيار في محولات التيار

P_1 P_2 S_1 S_2

التيار الثانوي

$$E_2 = 14 (4 - I_e)$$

وهي أيضا معادلة خط مستقيم وبالرسم بالمثل فوق منحنى المغناطيسية يتقاطعان عند $I_e = 0.6$ A تقريبا ومن ثم يصبح التيار في الثانوي

وبذلك يكون تيار الثانوي هو

$$I_2 = 4 - 0.6 = 3.4 \text{ A}$$

أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة σ يكون

$$\sigma = I_e / I_1 = 0.6 / 4 = 15 \%$$

د) في هذه الحالة نجد أن

$$E_2 = 14 (12 - I_e)$$

هذه معادلة خط مستقيم وبالرسم بالمثل فوق منحنى المغناطيسية يتقاطعان عند $I_e = 5.4$ A تقريبا ومن ثم يصبح التيار في الثانوي

ويكون تيار الثانوي هو

$$I_2 = 12 - 5.4 = 6.6 \text{ A}$$

أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة σ يكون

$$\sigma = I_e / I_1 = 0.6 / 4 = 15 \%$$

هـ) مع محولات التيار المثالية نجد أن قيمة 1200 A تساوي 12 A في الملف الثانوي ومن ثم يستطيع المتمم في الدائرة أن يتأثر بهذه القيمة وفي حالة المعوقة $X_L = 4.5\ \Omega$ يكون تيار الثانوي 11.2 A وبالتالي سوف يحس المتمم لأنها قيمة أعلي من القيمة الفعالة وهي 8 A أما في حالة $X_L = 13.5\ \Omega$ فنجد أن التيار الثانوي يساوي 6.6A ومن ثم لن يتأثر المتمم في الدائرة لأن القيمة أقل من التيار الفعال وهو 8 A

100

جهد (V)

60

20

تيار (A)

4

الشكل رقم 2- 14: منحنى المغناطيسية

نستنتج من هذه المسألة أن خطأ محول التيار يزيد مع زيادة التيار كما يزداد مع المقاومة العالية للحمل علي دائرة الثانوي أي مع البردن ذات المقاومة العالية، كما أن الخطأ تواجد في حالة القصر نتيجة التأثير المغناطيسي داخل المحول.

المحور الثالث: أنواع الملفات
Types of Windings

تتباين نوعيات محول التيار تبعا لأشكال وأنواع الملفات حيث تعتمد محولات التيار علي طريقة تركيب المحولات وكذلك علي أنواع القلب المغناطيسي المستخدم والذي عادة يكون مصنوع من سبيكة الحديد مع النيكل ويستخدم في كثير من الأحيان الشرائط العازلة له وفي كل الأحوال فان أهم أنواع القلب شيوعا هو القلب الحلقي والذي يتنوع إلي :

أ- الشكل الحلقي ring type

ب- الشكل المستطيل rectangular shape

ج- الشكل البيضاوي oval core

كما يتفرع التقسيم بالنسبة لتكوين القلب شرائحيا فنجد منه الأنواع التالية:

أ - شكل حرف L

ب - شكل حرف I

ج - شكل حرف C مقطوع

د - شكل حرف I مع E

قد يتميز هذا المكان بالنسبة للمحولات المفرغة (المخلخلة) أو تلك العاملة بالعزل SF_6.

ينعكس الآن الوضع للتقسيم بناء علي مكان وضع الملفات الثانوية داخل محولات التيار للجهد العالي وهي تتباين بين ثلاث مناطق هي:

1- المنطقة العلوية بجوار مكان أطراف الدخول تعتبر هذه المنطقة غير مناسبة في أغلب الأحوال لأنها قريبة جدا من الجهد العالي مما يجعل أعمال الصيانة ذات اعتمادية منخفضة بجانب أنها تطيل مسار دائرة التوصيلات الثانوية وهو ما يجب تجنبه وهي أيضا مكان مرتفع الحرارة وخصوصا مع الأنواع زيتية العزل.

2- المنطقة الوسطي بين القاعدة وأطراف الجهد العالي وهي منطقة وسطي وتقع عليها بعض العيوب السابقة كطول المسار وان كان أفضل عن سابقه، وقد يكون مناسبا لأنواع العزل الغازي.

3- المنطقة السفلي عند القاعدة وهي المنطقة المناسبة (الأفضل عمليا) لأنها أبرد الأماكن حراريا بجانب قصر مسارات الأسلاك في الدوائر الثانوية والتمتع باعتمادية عالية للصيانة حيث يمكن إجراء الاختبارات تحت الجهد العامل.

من الناحية الأخري تتنوع أيضا ملفات محولات التيار بشكل كبير ونوجز أهمها استخداما في مجال الوقاية وهي:

1- ذو ملفات الابتدائي wound primary type

هذا النوع يناسب محولات التيار المساعدة auxiliary CT وتلك المحولات صغيرة السعة small المستخدمة في شبكات التوزيع الكهربي للجهد 11 ك. ف. كما أن أسلاك الملف الابتدائي primary winding تتحمل تيارات كبيرة في أوقات القصر ويهمل عادة ملفات التعويض equalizing turns بها ومنها مقننات مثل4 لفات في الابتدائي مقابل 80 لفة في الثانوي وبمعدلات مقننة مثل 100 / 5 أ ، 40 أمبير لفة AT.

2- ذو عازل الاختراق Bushing or bar primary type

يتكون مثل كل المحولات من قلب حديدي حلقي ring core وغالبا ما تتكون الشرائح المتتالية فيه من شريط واحد طويل single long stripe يتم لفه بطريقة حلزونية spiral حول المنتصف center مكونا القلب، ويلف حول القلب ملفات ثانوية بحيث تلف حول كل المحيط ودون إنقاص من الدورة الكاملة لأي من اللفات ويجب أن يترك فراغا كافيا للعزل spacing بين طرفي البداية والنهاية له، وإذا كان الملف الثانوي متعدد الطبقات multi layer فيكون توزيع كل الطبقات علي طول المحيط كاملا ويمكن تباين المسافات بين الأسلاك لهذا الغرض تحقيقا للتساوي المنتظم في التوزيع علي طول المساحة أو المسافة المحددة لأي من الطبقات .

أحيانا يكون التيار الابتدائي قليلا *small primary current* فيصعب الحصول علي خروج output كاف بالدقة المطلوبة وهذا بسبب أن مقطع القلب الحديدي كبير فيحتاج إلي فيض أكبر لإنتاج الجهد *EMF* وكذلك بسبب قيمة الأمبير لفة *exciting AT* المؤثر في المجال المغناطيسي خصوصا مع الأقطار الكبيرة. ويستخدم هذا النوع مع مخارج محولات القدرة *power transformers* وأطراف المفاتيح الكهربية *circuit breakers*.

3- ذو القلب المتزن *Core balance CT*

هذا النوع في أغلب الأحيان وأكثر التطبيقات شيوعا عندما يستخدم للبحث عن التيار المتسرب *earth leakage* إلي الأرض ويستخدم عند نهايات المغذيات *feeders* والكابلات حيث يمر الكابل الثلاثي *3 phase single core cable* أو الثلاث كابلات فردية الطور *3 cables single core* في منتصف القلب المغناطيسي ويتم تركيب المتمم burden علي الدائرة الثانوية وبالتالي يعمل مع مجموع التيارات الثلاث أي التيار الأرضي *earth current* فيوفر بذلك عدد محولات التيار ليصبح واحدا بدلا من ثلاث ويقلل التيار المغناطيسي*exciting current* إلي الثلث تقريبا ويعطي حساسية *sensitivity* كبيرة لأنه في هذه الحالة يمكن الاعتماد علي الضبط الصغير *low setting* الفعال فعلا كما يواكب كل هذا أن المقنن في الدائرة الثانوية لن يكون كبيرا بل يقابل التيار الأرضي فقط ويكون التيار العادي أثناء التشغيل صفرا *zero operation current* وهكذا يمكن اختيار الأسلاك لتتحمل المقنن *effective primary pick up current*، ولهذا النوع يجب توصيل جراب الكابل مع أرضي محول التيار.

4- محول لمجموع التيارات Summation CT

يقوم هذا المحول بجمع التيارات بالأوجه المختلفة تبعا لقاعدة محددة من قبل ويتم ذلك بتوصيل خاص عند أطراف الملفات معا كي تتصل بالمتمم أو بمحول تيار مساعد*auxiliary* CT. جديلار بالذكر أن هذا النوع هام وضروري خصوصا وأن هذه المحولات أصلا تركب علي الأطوار مستقلة وبالتالي لا تشترك في القلب المغناطيسي ومن ثم نكون في حاجة ماسة إلي هذا النوع للحصول علي المقابل الصفري للشبكة الأصلية سواء كان تيار أو جهد أو غيرهما مستنبط منهما.

5- ذو الثغرة الهوائية Air gapped CT

هذه المحولات تستخدم كمحولات مساعدة *auxiliary* CT وتعتمد علي وجود ثغرة هوائية *air gap* في مسار الفيض المغناطيسي لإنتاج جهد ثانوي *secondary voltage* يتناسب مع قيمة التيار الابتدائي ويطلق عليه أحيانا أسم المحولات المربعة *transactors or quadrature CT* ويستخدم بكثرة في النظم وحيدة دوائر الوقاية *unit protection schemes* حيث يتمتع هذا النوع بالخواص الخطية لمدى واسع

6- محولات تيار ضخمة Over dimensioned CT

هذا النوع يصمم خصيصا لتحمل التيارات الكبيرة والتي تصل إلي قيمة تيارات القصر short circuit أو التيارات الانتقالية transient currents كي تلائم هذه الخواص ولتدخلها نطاق الخواص الخطية ويظهر فيها الفيض المحبوس remanent flux ولكنها تتميز بالقدرة علي تحمل التيارات الكبيرة.

7- محول بدون فيض محبوس Anti remenance CT

في هذا الطراز يتم تغيير مستوي المسافات الخاصة بالثغرة في القلب المغناطيسي فيقل الفيض المحبوس من 90 % إلي أن يصل إلي 10 % فقط وبذلك ندخل النطاق السليم للتشغيل وتظل الصفات الخطية مؤثرة وفعالة، ويقابل ذلك الفيض الثابت d. c. flux والناتج عن عدم التماثل في التيار الابتدائي ذاته مما يقل معه الخطأ عن تلك الحالة بدون الثغرة.

8- المحول الخطي Linear CT

إنه محول يعتمد علي الثغرة لتقليل حث inductance التأثير المغناطيسي وبالتالي ينقص الثابت الزمني للدائرة الثانوية time constant فيقل حجم المحول كما يعطي نسبة تحويل صحيحة ويعمل في منطقة خطية واسعة وهو من النوع الجوهري الذي يقع في الوسط بين النوع العادي والنوع ذو الثغرة

9- المحول المستقل (المنفصل) Separately mounted CT

يمثل هذا النوع وحدات حرة مستقلة منفصلة separate حيث يتم ثني السلك الابتدائي علي شكل حرف U داخل عازل بورسلين porcelain مملوء بالزيت transformer oil بينما توضع ملفات الثانوي عند الجزء السفلي من حرف U وعادة تكون الملفات عديدة وكل منهم لها عمل مستقل وفي دائرة بعيدة عن الآخرين ، وأحيانا يستخدم قضبان مستقيمةstraight bar كملف ابتدائي وتكون غير معزولة ولكنها توضع داخل عازل مجوف سواء من البورسلين أو غيره ويكون العزل في مستوي عزل الشبكة ذاتها وتركب الأطراف تحتها ويملأ الفراغ بعازل إما زيت المحولات أو غاز سادس فلوريد الكبريت SF_6 .

المحور الرابع: مقننات محولات التيار CT RATING

تمثل الدائرة الثانوية secondary circuit محورا رئيسيا للتعامل مع محولات التيار CT سواء من أجل القياس أو الوقاية من تيارات القصر short circuit currents التي عادة ما تتعرض لها الشبكات الكهربية وحيث أنها تمثل الجزء الأكبر من الدائرة المكافئة للمحول عموما فإنها تحتاج إلي إلقاء الضوء علي الخواص الأساسية وتبعا للمواصفات الدولية المحددة لنظام التعامل مع مثل هذه الأجهزة، وهي ما نضعها في نقاط كما يلي:

1- التيار الثانوي المقنن Secondary Current Rating

يعتمد التيار الثانوي علي النسبة transformation ratio بين عدد لفات كلا من الملفات الابتدائية والثانوية وهو بذلك يتأثر بعدد اللفات الحقيقية actual turns وهذا العدد بالتالي يتناسب عكسيا مع التيار المار به ومن ثم تتناسب معوقة الملفات impedance مع مربع التيار عكسيا وحتى يقل التيار يجب زيادة المعوقة أو ما يعني عدد اللفات number of turns ، أما أطراف التوصيل leads لهذه المحولات فتتوحد the same لكل المحولات بصرف النظر عن المقنن لها لأن هذه الأطراف تمثل الفقد الكبير في الدائرة الثانوية مما يستوجب تقصير مسافة الأسلاك المستخدمة في الدوائر الثانوية بقدر الإمكان خصوصا وفي محطات الجهد العالي حيث تتسع المسافات وتطول الأسلاك فمثلا لمسافة 200 متر نحصل علي مقاومة تصل إلي 3 Ω مما يستدعي زيادة البردن إلي ما يقرب من 75 ف. أ. لتغطية الفقد في الأطراف، إذا كان المقنن الأصلي هو10 فتكون الحصيلة 85 ف. أ. ويتبع ذلك زيادة الحجم ثم ارتفاع الثمن الباهظ وهذا كله من السلبيات في مثل هذه الأحوال، أما إذا خفضنا المقنن إلي 1 أ. تيار ثانوي فيقلل قدرة البردن الخاص بالأطراف إلي 3 ف. أ. بدلا من 75 ويصبح مقنن محول التيار (10+3) أي13 ف. أ. بدلا من 85 .

كما نلاحظ تيارا كبيرا في الابتدائي يصل إلي عددا من الكيلو أمبير فينتقل كبيرا في الدائرة الثانوية ويزيد من المقنن لها فيستلزم إدخال محول تيار مساعد auxiliary CT آخر يضاف علي دائرة الثانوي للمحول الأصلي ليقل معه مقنن التيار current rating وبالتالي يقل الفقد الكلي total loss في الدائرة وهذه المقننات تتبع المواصفات القياسية فمنها1-2-5 أ. وإضافة إلي ذلك فتتوحد مقننات الخروج بوحدات الفولت أمبير في القيم 2.5–5–7.5–10 –15 –30 وهي كلها ممكنة وتؤخذ بناء علي الجهد الشغال لأنها تزيد مع ارتفاع الجهد العالي.

تأتي عملية التيار الدائر circulating current في الدائرة الثانوية أساسا للتعامل مع هذه الدوائر ففي البعض عادة لا وجود للتيار no circulating current وفي أحوال أخري يكون العكس ولهذا يلزم تحديد هذا التيار خصوصا عند الاعتماد علي التوصيل التفاضلي Merz Price والمقارن وهو ما يزيد من الأهمية إذا ما كان هناك فارقا في الزاوية angle displacement فتدخل في الحسبان .

2- معوقة الملفات الثانوية Secondary Winding Impedance

هذه المعوقة تتبع بعض القواعد الأساسية وهي:

أ) القلب من النوع غير الموصول joint-less حلقيا بما فيها من القلب اللولبي spirally wound core

ب) يتم لف ملفات الثانوي بمتانة بالغة وبشكل منتظم حول القلب (الدائرة المغناطيسية) ما عدا الجزء الخالي ويمثل حوالي 2 سم وبما لا يزيد عن 30° بحيث لا يقل عن المسافة المسموح بها spacing بين طرفي اللفة.

ج) يلزم مرور لفات الابتدائي في المنتصف تماما

د) يجب مرور لفات ملف الابتدائي علي طول المسار المغناطيسي وبالتساوي

هـ) يجب أن تتوازى ملفات التعادل equalizing الأربعة ويلزم أن توزع علي كامل الدائرة المغناطيسية بمعدل ملف تعادل لكل ربع وذلك من أجل التوزيع المتساوي بين الملفات لتعادل تأثير المجال الناتج عن تأثير أسلاك الخروج من المحول.

إذا لم يتحقق كل ما سبق من شروط يلزم التأكد من قيمة الخطأ المختلط بحيث لا يتعدى 1.3 من نسبة تغير الخواص المغناطيسية exciting characteristic (جهد / تيار).

3- الدائرة الثانوية مفتوحة Open Circuit Secondary Voltage

عند فتح الدائرة الثانوية يتوقف مرور وظهور القوة المغناطيسية MMF ويصل التيار إلي منطقة التشبع في كل نصف دورة ذبذبة half a cycle مما يزيد من معدل التغير الفيض rate of change of flux بشكل كبير، وعندما يمر التيار الابتدائي بالصفرpassing through zero يتولد جهدا كبيرا جدا في ملفات الثانوي قد يصل إلي مئات الفولت في محولات صغيرة ويصل إلي عدد من الكيلو فولت في المحولات ذات نسبة التحويل الكبيرة أثناء حدوث القصر short circuit حيث يزيد التيار مع الجهد خطيا

بالتقريب. هذه الجهود خطيرة ليس علي عزل الملفات winding insulation فقط بل علي الأجهزة devices المتصلة بالدائرة إضافة إلي الخطر الأعظم لما يهدد حياة العاملين في الموقع ولهذا يلزم بصفة مشددة عمل قصر علي الملفات الثانوية باستخدام سلك مربوط جيدا في الدائرة وله مقنن يسمح بمرور تيارات القصر حتي لا يصير مصهرا فيؤدي إلي دمار الملفات.

4- مقنن التيار الابتدائي Primary Current Rating

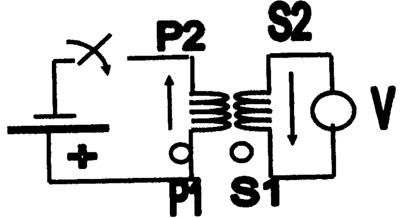
هو ما يصبح هاما كي يتوحد طبقا للمواصفات وتسهيلا لتصنيع manufacturing المحولات وهي تتحدد بالقيمة الأمبير مثل 0.5 – 2.5 – 5 – 10 – 12.5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 – 100 – 125 – 150 – 200 – 300 – 400 – 500 – 600 – 750 – 800 وأيضا بالكيلو أمبير مثل 1 – 1.25 3 – 4 – 5 – 6 – 7.5 – 10 وبناء علي هذه القيمة تتحدد قيمة المقنن للتيار الثانوي والذي يقع في ثلاث قيم كما سبق تحديدها من قبل. أما عن بقية النقاط الهامة لتقنين محولات التيار فنبينها في:

أولا: التيار اللحظي (الوقت القصير) Short Time Current

عندما تتزايد قيمة التيار بشكل هائل فأنه يمثل تحميلا زائدا overload علي الدائرة وبالتالي لا يجوز تحميلها لفترة أكثر من تلك المقننة له وهو ما يتحول إلي نوعين من التأثيرات وهي الحرارية thermal والتي لا تسمح إلا بفترات قياسية محددة مثل 0.25 أو 0.5 أو 1 أو 3 ثانية أو بالتأثير الديناميكي dynamic في الفترة المقابلة للدورة الأولي first cycle حيث تتناسب القوة الناشئة F في المتمم بتناسب عكسي مع مربع التيار فكلما زاد التيار يبطء كلما قلت الفترة الزمنية بشدة.
يجب توضيح أن هذه القيمة تعادل تلك القيمة RMS للمركبة المتغيرة AC component من قيمة المقنن للمحول ذاته خصوصا وأن القيمة القصوى قد تصل إلي أكثر من 2.5 ضعف القيمة القصوى المقننة rating في الدورة الأولي.

ثانيا: المؤثرات

تتأثر جميع المقننات لمحولات التيار عند التصميم بالمعاملات المختلفة ومن أهمها:



الشكل رقم 2-15: دائرة اختبار القطبية

أ) شكل الموجات الكهربية

عندما تكون الموجة جيبية تكون القارءات صحيحة ولكننا في الحقيقة وعند حدوث القصر تكون الموجات لا جيبية لظهور التوافقيات المختلفة ومن ثم تحدث القراءات والقياسات غير الصحيحة ومن ثم يجب أن يتم تصميم المحول لمواجهة هذه الحالات وهو من أو الأهداف في التعامل مع هذه المحولات.

ب) أقصى ارتفاع للجهد بها voltage level

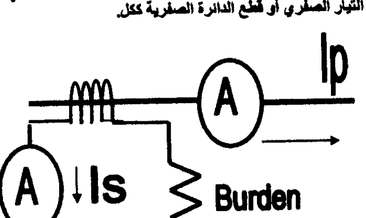
مستوي العزل يمثل الخطورة القصوي مادام التعامل يبدأ من ملفات وهي التي يجب أن تواجه هذه الجهود غير الفجائية ذات القيم المتوسطة تبعا لمستوي الجهد للتشغيل العادي.

ج) نظم التأريض للشبكة earthing system

من المهم جدا لحساب التيار الغامز لأي من الحالات حيث يعمل محول التيار به فيكون تأثير الترتيبات الصفرية مؤثرا في القيمة وهو ما نحتاج له من خلال التأريض وهي عملية تخص التيار الصفري أو قطع الدائرة الصفرية ككل.

د) حدود الجهود الفجائية transient voltages

هذه الجهود هي تلك الجهود الفجائية الناتجة عن الحالات الإنتقالية في الشبكة وهي الظواهر الكهربية الجوهرية والتي يتعرض لها المحولات عند التعامل مع الشبكة الكهربية أثناء عمليات الفصل التلقائي.



الشكل رقم 2-16 : دائرة قياس الخطأ (طريقة مباشرة)

ثالثا: القلب المغناطيسي لمحولات التيار

من الأهمية أن نشير إلي أن حقيقة الأمر في التطبيق الفعلي لمحولات التيار هو تصنيفها تبعا لعدد القلب المغناطيسي الموجود بها وهي ما يمكن وضعها بصورة مختصرة علي النحو الآتي:

1- محول مفرد القلب المغناطيسي

2- محول مزدوج القلب المغناطيسي

3- محول متعدد القلب المغناطيسي

يشير الجدول رقم 2 – 8 إلي بعض المقننات النمطية تبعا للمواصفات القياسية الدولية لبعض محولات التيار مزدوج القلب المغناطيسي (المتداولة فعلا للجهد 12, 24 ك. ف. 50 هيرتز) حيث تزيد قيمة عند تغير الذبذبة عن 50 هيرتز, كمات أنها تزيد بمعدل تقريبي قدره 20 % عند التعامل عند الذبذبة 60 هيرتز

2-3: اختبار محولات القياس Testing

يجب تحديد معامل القدرة عند التجربة فيكون 0.8 متأخر لقدرات البردن بدءا من 5 ف. أ. وأعلي ويكون معامل الوحدة لأقل من ذلك وتنقسم أنواع الاختبارات إلي الأنواع الثلاثة التالية:

النوع الأول: الاختبارات القياسية الأساسية *Typical Tests*

هذه الاختبارات جوهرية ويجب أن تجري لكل محول تيار قبل أن يلحق بالعمل في دوائر كهربية وهي عديدة:

1- اختبار القطبية Polarity Check

تعطي دائرة الاختبار المستخدمة (الشكل رقم 2-15) انطباعا عن بساطة هذا الاختبار حيث يستخدم جهاز الفولميتر وهو ما يمكن أن يتم بصفة روتينية بالموقع عند كل تغيير يتم علي التوصيلات الخاصة بهذا المحول للتأكد من سلامة الترقيم الموجود علي الأطراف حيث يمر التيار بالملف الثانوي فترة انتقالية صغيرة ولكنه سوف يعطي قراءة موجبة لتحديد الاتجاه للملفات الثانوية، خصوصا وأن الفولتميتر من نوع الملف التحرك moving coil type.

الشكل رقم 2-17 : دائرة اختبار الخواص المغناطيسية

2- اختبار التيار للزمن القصير المقنن *Short Time Current Check*

3- اختبار الحرارة Temperature Rise Test

4- اختبارات العزل Insulation Tests

هذا العزل يتم اختباره تبعا لمنطقة تواجده ويوجد نوعان للاختبار هما:

(أ) اختبار الومضة الكهربية Impulse Test

يجري اختبار الومضة الكهربية لاختبار عزل الملفات الابتدائية للمحولات العاملة علي الجهد العالي وهو من أنواع اختبارات الجهد الزائد كما في المعدات العاملة بالشبكة ويعرف باسم Over voltage Test

الجدول رقم 2 - 8: بعض مقننات عدد من محولات التيار مزدوج القلب المغناطيسي (المتداولة للجهد 12, 24 ك. ف. 50 هيرتز)

	تيار المحول (ك. أ)			القلب الأول			القلب الثاني
إبتدائي	وقت قصير	عابر	تيار مغناطيسي ملي أ	جهد، ف.	مقاومة ملف، ملي أوم	F_s	مقاومة ملف، ملي أوم
50 - 100	11-22	30-60	145	25	70	5	160
50 - 100	20-40	50-100	290	12	30	15	40
75 - 1150	11-22	30-60	100	34	190	5	180
75 - 1150	20-40	50-100	195	17	50	10	140
100 - 200	11-22	30-60	145	25	70	5	160
100 - 200	20-40	50-100	145	25	70	5	160
150 - 300	16-32	40-80	100	34	280	5	180
150 - 300	27-54	68-136	100	34	190	5	180
200 - 400	20-40	50-100	145	25	70	5	160
200 - 400	27-54	68-136	145	25	70	5	160
300 – 600	27-54	68-136	100	34	280	5	180
400 - 800	27-54	68-136	75	34	310	5	240

(ب) اختبار العزل الكهربي للملفات الثانوية Inter Turn Voltage

يتم ذلك لاختبار عزل الملفات الثانوية بالجهد المقنن الابتدائي مع فتح دائرة الثانوي لمدة دقيقة واحدة.

(ج) اختبار العزل الكهربي للملفات الابتدائية *Primary Voltage Withstand Test*

5- اختبار قيمة الخطأ **Error Measurement**

وهو ما يتم بطريقتين هما:

(أ) الطريقة المباشرة direct method

في هذه الطريقة (الشكل رقم 2-16) نجد أن الأميتر في دائرة الملفات الثانوية والمغلقة علي بردن مناسب بينما يوضع أميتر في دائرة الابتدائي لتحديد قيمة الخطأ عند قيم التيارات المختلفة أو مع تغير قيمة البردن بحيث تتحدد كلما ظهر أي تغير في القراءات أو حالات القصر كما أنه من الاختبارات الأساسية ويجب التأكد منها في المصنع ويصلح هذا الاختبار لجميع أنواع محولات التيار CT.

(ب) طريقة المقارنة Comparison Test

هذه الطريقة مناسبة للمحولات غير القياسية ولكنها اختبارات مساعدة لتلك المحولات الأخرى.

النوع الثاني: اختبارات دورية Routine Tests

هذه الاختبارات تتباين بشكل كبير ولذلك نجد منها التكراري مع تلك النوعية السابقة مثل ونعطي أهمها:

1- اختبار القطبية **Polarity**
2- اختبارات العزل **Insulation Test**
3- اختبار العزل الابتدائي **HV Withstand**
4- اختبار الخطأ **Error Determination**

الشكل رقم 2-18: الخواص المغناطيسية لمحول التيار

النوع الثالث: اختبارات خاصة Special Tests

يوجد اختبارات أخري إضافية More Tests هامة وضرورية مثل:

1- اختبار الاتزان Stability Test

2- اختبار عدد اللفات Turns Ratio Test

يستخدم فيه نفس الدائرة الأساسية بالشكل رقم 2-17 حيث يتم رصد التيارين الابتدائي والثانوي ويحدد منهما قيمة النسبة الفعلية (الشكل رقم 2-18).

3- اختبارات الصفات المغناطيسية المقننة لمحول التيار

حيث نحتاج إلي تحديد الخاصية المميزة للعلاقات الخطية وغير الخطية للقلب المغناطيسي وهو ما يتم من خلال الدائرة الواردة بالشكل رقم 2-19 حيث يتم تغذية الملف الثانوي بمنبع تيار متردد علي مقاومة متغيرة وترصد القراءات لكل من الجهد علي الملفات الثانوية وهي المنتجة للعلاقة بين الجهد والتيار والتي نراها في الشكل رقم 2-18 فتتولد التيارات التي تقاس وهي المقابلة للتيارات المغناطيسية ويقاس بها أيضا قيمة تيار الفارق والمسمى **spill current** حيث تحتاج إلى توضيح قيمتها في حالة اختلاف خواص محولات التيار العاملة في دائرة مشتركة. يتم اختبار هذه الصفات من خلال الدائرة التفاضلية بالمقارنة مع صفات قياسية كما في الشكل رقم 2-19.

الشكل رقم 2-19 : دائرة اختبار الصفات المغناطيسية

2-4:_النواحي التطبيقية Practical

إذا صمم المحول لغرضي القياس والوقاية معا فيكون الاختيار تبعا للجداول السابق ذكرها لتحديد الدقة والحفاظ عليها في المحول المستعمل وفي هذه الحالة يكون إجمالي مجموع البردن علي الدائرة الثانوية هو مجموع البردن للمتمم وأجهزة القياس المشتركة معها، أما ملفات التوازن فنحتاجها لهدف القياس فقط وليس الوقاية ولهذا يلزم تحديد مقنن البردن ليس بقدرتها فقط بل مضافا إليها مستوي الدقة فمثلا يكون البردن بقدرة 10 ف. أ. مستوى 0.5 بينما إذا كان الغرض هو دائرة الوقاية فيلزم إضافة معامل حدود الدقة فمثلا يتحدد

بـ (10 VA class10 P 10) وذلك لزيادة التأكيد علي أهمية الغرض اللازم عند الاستخدام. سوف نضع بعض التطبيقات التفصيلية من حيث المبدأ لمحولات التيار علي النحو التالي:

(أ) قياس التيار الزائد Over current Relay

عند اختيار محول تيار ما يلزم بعض الأساسيات والتي تتمثل في:

1- التأكد من عدم دخول المنطقة العاملة أو النقطة العاملة operating point في نطاق منطقة التشبع أو اللا خطية عموما إذا ما زاد التيار عن 20 مرة مثل التيار المقنن أو التيار المضبوط عليه المتمم ولهذا نختار نسبة تحويل عالية مع مقننات البردن الصغيرة Low Burden بقدر الامكان

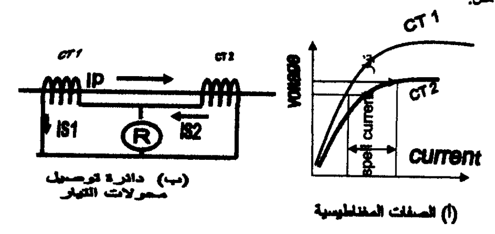
2- مع النظم المتدرجة في التوقيت graded time lag system مع زيادة التيار يتم اختيار النسبة العالية في التحويل في بعض الأماكن بينما نختار الأخرى في أماكن معينة بذات النظم .

3- يتسبب التشبع عموما في تواجد موجة توافقية ثالثة 3rd harmonic في الملفات الثانوية فيزيد زمن تشغيل المتمم عن المحدد ولهذا يفضل محولات تيار بنسبة صغيرة لتأخذ زمن أداء أكبر.

(ب) قياس المقارنة بالتفاضل بين تيارين Differential Relay

يمكننا التغلب علي مشكلة التشبع في محولات التيار المشتركة في وقاية تفاضلية (الشكل رقم 2-20) وعلي الصفات الخاصة بها بالاعتماد علي التفاضل المدفوع Biased Differential أو بالمعوقة الكبيرة في المتممات high impedance differential relays كما أن هذه المحولات تتبع بعض القواعد مثل:

1- حالة نوعية محولي التيار مختلفين
2- حالة نفس المحولين ولكن التيارات مختلفة
3- حالة نفس المحولين وذات التيارين قيمة مع اختلاف الزاوية بينهما
4- حالة نفس النوعية والتيارات متماثلة قيمة وزاوية وهنا نتقابل مع نوعين من التوصيل فالأول إذا كانت القطبية بذات الاتجاه بينما الثاني إذا كانت معكوسة لأحدهم دون الآخر (الشكل 2-21) حيث يبين أن القطبية المتماثلة وتصبح المعادلة الكهربية للعقدة ومجموع تياراتها:



(ب) دائرة توصيل محولات التيار

(أ) الصفات المغناطيسية

الشكل رقم 2- 20 : دائرة الوقاية التفاضلية للتيار

$$SUM\ (I_{node}) = 0 \qquad (2\text{-}17)$$

من هذه المعادلة نستنتج بالنسبة للشكل (أ) أن التيارين متساويين للتماثل ويدخلان ألي العقدة قبل المتمم ويجمعان فيصبح التيار المتجه والمار في المتمم I هو

$$I = (I_1 - I_2) = 0 \qquad (2\text{-}18)$$

أما للشكل (ب) عندما تنعكس القطبية فيدخل التياران نفسهما إلي نفس العقدة في اتجاه واحد نحوها وبالتالي يجمع التياران ويكون التيار المار في المتمم بصفة مستمرة هو:

$$I = I_1 + I_2 \qquad (2\text{-}19)$$

ذلك يعني أن التيار يمر بصفة مستمرة في ملفات المتمم مستهلكا الطاقة ومسببا من المشاكل التي نحن في غنى عنها ولذلك يجب الاهتمام بالقطبية واختبارها بصفة روتينية.

(ب) حالة قطبية منعكسة لمحولات متماثلة   (أ) حالة القطبية المتماثلة لمحولات متماثلة

الشكل رقم 2-21 : تأثير القطبية واتجاهها

في كل هذه الحالات تعمل الدائرة الكهربية بالعلاقات الرياضية العامة والتي تتبع الدائرة المكافئة والمبينة في الشكل رقم 2-22 حيث تختلف التيارات بشكل عام فلكل منهما تيارا فعليا actual مخالفا ومن ثم نحصل علي المعادلات:

$$E_1 = I_{s1}\ R_1 + R_r\ (I_{s1} - I_{s2}) \qquad (2\text{-}20)$$

$$E_2 = I_{s2}\ R_2 + R_r\ (I_{s2} - I_{s1}) \qquad (2\text{-}21)$$

إذا أهملنا المقاومة الخاصة بالمتمم فنحصل علي هاتين المعادلتين في الصورة البسيطة:

$$E_1 = I_{s1}\ R_1 \qquad (2\text{-}22)$$

$$E_2 = I_{s2}\ R_2 \quad (2\text{-}23)$$

من ثم نحصل على:

$$K_n\ I_p / K_t = I_{s1} + I_{e1} = I_{s2} + I_{e2} \quad (2\text{-}24)$$

فنصل إلي قيمة التيار اللازم لعمل المتمم وهو التيار العامل I_{ro}

$$I_{ro}=(I_{s1} - I_{s2}) = K_n\ I_p/K_t - I_{e1} - (K_n\ I_p/K_t - I_{e2}) = I_{e2} - I_{e1} \quad (2\text{-}25)$$

هذا الفارق هو ما يعرف باسم *spill current* وتتحدد نقطة الاتزان *Stability point* (وهي الهامة مع التيارات الكبير وحالات الفجائيات *transients* في الشبكة) كما نشير إلي أن هذه الحالات الفجائية لا تهم المتمم الزمني من النوع الحثي *induction type* لأن تشغيل المتمم في هذه الحالة يعتبر بطيئا ولذلك يجب اختيار محولات التيار العاملة في دوائر المقارنة التفاضلية بحيث تكون النسبة بين التيار الأقصى في الشبكة منسوبا إلي القيمة المقننة له في دوائر الوقاية صغيرا. من هذه القيمة مقارنة مع تيار العمل (I_r) pick up current ويكون لدينا الحالتين:
ففي الحالة الأولي نجد طبقا للمعادلة

الشكل رقم 2-22: الدائرة المكافئة لدائرة الوقاية

$$I_r > I_{e2} - I_{e1} \quad (2\text{-}26)$$

تلك المعادلة هي ما تعني أن التيار المار بملف المتمم سيحصل علي الطاقة اللازمة لأمر الفصل، أما إذا أصبحت القيمة هي

$$I_r < I_{e2} - I_{e1} \quad (2\text{-}27)$$

هذه المعادلة تشير إلي توقف المتمم عن العمل لعدم الوصول إلي القيمة المطلوبة

الشكل رقم 2-23: صفات التيار الابتدائي غير المتماثل عند توصيل معوقة متوازية لا نهائية (To – 0.06 s)

(ج) أغراض أخرى Others

تتنوع وتتباين الأغراض للتعامل مع محولات التيار بشكل واسع ولهذا نستعرض حالتين منها:

الحالة الأولي: وقاية المسافة Distance Protection

نتعامل مع زيادة زمن عمل المتمم كثيرا عن حالة زيادة التيار المعتادة ونصل إلي نطاق التشبع فتكون الحاجة مع زيادة نسبة الحث إلي المقاومة (X/R) في الشبكة كي تزيد من أجل الابتعاد عن منطقة التشبع إضافة إلي تحسين معامل التشبع للفجائيات transient saturation factor وهذا يعتبر مؤشرا هاما عند اختيار محولات التيار لهذا الغرض.

الحالة الثانية: وقاية الاتجاه Directional Protection

في هذه الحالة يجب الابتعاد عن منطقة التشبع أيضا كما في حالة وقاية المسافة حتي لا تقل الدقة ويزيد خطأ الزاوية تحديدا ثم ننتقل إلي بعضا من المحاور الرئيسية التي تغطي موضوع القياس من حيث المبدأ:

المحور الأول: محولات التيار المساعدة Auxiliary CT

نحتاج لإدخال المحولات المساعدة ضمن الدوائر لتحسين خواص الأداء للأسباب التالية:

(أ) اختلاف المقنن الخاص بالبردن عن ذلك المقنن للمحول الأصلي

(ب) الحاجة لتعويض اختلاف الزوايا بين الكميات المقارنة .

(ج) الضرورة لعزل دائرة عن أخري كي لا تتداخل الكميات المطلوبة معا .

المحور الثاني: الخواص الانتقالية لمحولات التيار Transient performance

أن المحولات هذه تعمل مع ظهور حالات انتقالية transient فتكون الفترة متناهية الصغر خصوصا مع تغير التيار الابتدائي بشكل هائل ولهذا يظهر من التأثير الهام علي خواص الدائرة الثانوية Response لمحولات التيارCT خصوصا مع أشكال الوقاية بالاتزان balanced forms .

يمثل التيار الابتدائي القيمة الأساسية والمطلوب تحديدها بدقة للتعرف عن حالة الشبكة وعما إذا ما كان هناك قصر أو تشغيل غير عادي يستلزم الفصل التلقائي وحيث أن الشبكة في العادة تكون حثية المعوقة وتتصرف بهذا المبدأ وعليه يمكن التعبير عن التيار الابتدائي في صيغة عامة هي:

$$I_p = I_{max}\,[\sin(\omega t - \gamma) + \sin(\gamma)e^{-t/T_o}] \qquad (2\text{-}28)$$

عندئذ نجد أن القيمة القصوى الثابتة تعتمد علي مكونات الدائرة الكهربية المكافئة والتي يمكن أن تتمثل في

$$I_{max} = E_p \,/\, \sqrt{[R^2 + \omega^2 L^2]} \qquad (2\text{-}29)$$

كذلك الزمن الثابت T_o للدائرة وهو المعروف باسم time constant ويتحدد بوحدات عدد الدورات (in cycles) يتبع القيمة ($T_o =$ L / R)، كما نجد الزاوية γ المضافة تأخذ الشكل

$$\gamma = \textit{system p. f. angle} - \textit{initial angle at moment of fault} \qquad (2\text{-}30)$$

تتكون معادلة التيار الابتدائي من جزأين الأول هو الشكل الموجي المعتاد بينما الثاني يمثل الحالة الانتقالية وبمعامل تخفيض لأنه سالب ليعود هذا الحد إلي الصفر بعد فترة زمنية قد تكون طويلة أحيانا وتصبح عند قيمة الزاوية $\gamma = \pi/2$ وهذه هي حالة أقصي قيمة للتيار الانتقالي، فتصبح المعادلة السابقة في الصورة:

$$i_p = I_{max}\,[\sin(\omega t - \pi/2) + e^{-t/T_o}] \qquad (2\text{-}31)$$

المعروف أن الفيض في ملف ما يعتمد علي الجهد المسلط عليه وبالتالي نتبع المعادلة:

$$\Phi = K \int v\,dt \qquad (2\text{-}32)$$

حيث ϕ_1 يمثل الفيض الناتج عن الجزء الأول بينما ϕ_2 تعطي الفيض الناتج عن الحد الثاني ومن ثم تتحول المعادلة السابقة إلي الشكل:

$$\Phi = K R_b I_s \left\{ \int^{3\pi/2\omega} \sin(\omega t - \pi/2)\,dt + \int^{\pi/\omega} e^{-t/T_o}\,dt \right\} \qquad (2\text{-}33)$$

وهو ما يصل إلي الشكل المبسط (الشكل رقم 2-23):

$$\Phi = K\, R_b I_s\, \Phi_1 (1 + \omega T_o) = K \times R_b I_s \Phi_1 (T.F) \qquad (2\text{-}34)$$

where

$$\Phi_2 / \Phi_1 = \omega L/R = \omega T_o,\ T.F\ (\textit{Transient Factor}) = (1 + \omega T_o)$$

قد ظهر معامل الانتقاليات الهام هذا ليجعل الفهم أبسط وأسرع مبينا ذلك في شكل منحنيات كما نشاهدها في الشكل رقم 2-24 وذلك لحالة توصيل معوقة لا نهائية في الدائرة الثانوية عندما تكون قيمة الثابت الزمني بمقدار 0.06 ثانية حيث أن التيار المقنن في الدائرة الثانوية يكمن في التعبير:

التيارالمقنن بالدائرة الثانوية i_s = التيارالمغناطيسي i_e + التيارالثانوي الفعلي i_{sa}
(34-2)

بناء علي ذلك وحيث أن التيار الفعلي الذي يمر بالبردن بذات المقاومة R_b ومن ثم نجد أنه في حالة الإنتقاليات نحصل علي:

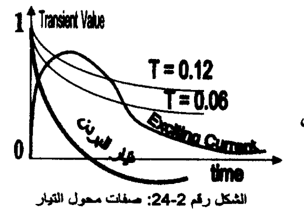
$$L_e \, d\, i_e / dt = R_b \, i_s \qquad (2\text{-}35)$$

هذه العلاقة الأساسية للزمن الانتقالي تدخل في الحسبان فنحصل علي المعادلة التي تخص الدائرة الثانوية في:

$$d\, i_e / dt + R_b \, i_e / L_e = R_b \, i_s / L_e \qquad (2\text{-}36)$$

كما تعطي هذه المعادلة الحل العام لها في الصورة:

$$i_e = I_1 \{T_o /(T_1 - T_o)\}\{e^{-t/T1} - e^{-t/To}\} \qquad (2\text{-}37)$$

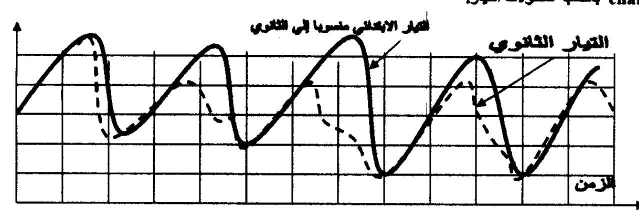


الشكل رقم 2-24: صفات محول التيار

بينما يعرض الشكل 2-24 حدود هذه المعادلة ويقدم الصفات الانتقالية للتيار غير التماثلي في محولات التيار حيث الثابت الزمني للدائرة الأولية (network) هوT_o بالقيمة 0.06 ث إضافة إلي الثابت الزمني للدائرة الثانوية T_1 وهو0.12 ث.
تحدد القيمة للتيار I_1 والممثلة للمركبة الموجبة للتيار الأقصى في الدائرة الثانوية لمحول التيار. وجدير بالذكر أن الموجات التوافقية harmonics قد تظهر أثناء الفترات الانتقاليةtransient duration نتيجة التشبع saturation في خواص محولات التيار وما يتبعه من تشويه distortion (توهين) للموجات المنتظمة فيظهر التوافق الثاني 2nd والثالث 3rd بتأثير كبير بينما يمكن إهمال تأثير البقية مما ينعكس علي حساسية sensitivity الجهاز المتمم.
أخيرا نجد خلافا بين تلك المعادلات والواقع الفعلي لحدوث القيمة الفجائية للتيارات وقت حدوث القصر وذلك للأسباب الآتية:

1- عدم حساب قيمة الحث للمعوقة البردن burden inductance
2- عدم حساب قيمة الحث في الملف الثانوي لمحول التيار secondary inductance
3- عدم التعامل مع الفقد الحديدي iron loss في القلب المغناطيسي فيقل الثابت الزمني time constant في الدائرة الثانوية مع تغير قيمة المقاومة والتي تهمل في إجراءات الحساب لتبسيط الحل.
4- الاعتماد علي الصفات الخطية linear بالرغم من الدخول إلي منطقة التشبع saturation والتي تتجزأ أحيانا إلي خطوط متتالية ومتتابعة multi line system للتقريب من الواقع بقدر الإمكان.
5- التيارات المغناطيسية hystresis effect لا تدخل في الحسبان وما يؤدي إلي تغير قيمة الحث في الدائرة (حلقة الدائرة) loop فيتغير معه الثابت الزمني والمحدد ثابتا من قبل.
6- ظهور المركبة الثابتة للتيار direct current تساعد علي زيادة الفيض المتوسط mean flux لعدد من الدورات وما يتبعه من تأرجح swing حول القيمة المتوسطة.
7- ارتفاع قيمة التيار المغناطيسي نتيجة قلة قيمة الحث أثناء الفترة الانتقالية وما يرافقه من فقد كبير وتدخل أحيانا إلي حيز التشبع زمنيا فيزيد من البعد عن الدقة

نري في الشكل رقم 2-25 التباين بين تياري الملف الابتدائي والثانوي لمحول تيار حيث الفيض المتبقي صفرا Zero residual flux والبردن مقاومة فقط resistive burden في شبكة لها ثابت زمني قدره 0.05 ثانية حيث يظهر تشويه distortion كبير في الشكل الموجي في الدائرة الثانوية وذلك نتيجة الدخول إلي منطقة التشبع saturation في العلاقة بين الجهد والتيار exciting characteristic بالنسبة لمحولات التيار.



الشكل رقم 2-25 : التيار الثانوي لمحول تيار

المتممات الديناميكية ELECTROMECHANICAL RELAYS

تلعب المتممات الديناميكية الدور الأول الأساسي في ملعب الوقاية منذ القدم حيث قامت عليها الوقية الآلية للشبكات الكهربية منذ البداية حتي أصبحت تعتمد عليها الشبكات القومية والموحدة والخاصة علي حد سواء. من الناحية الثانية فقد أدت هذه النوعية من المتممات- هي الأقدم بين كل الأنواع- عملها بكفاءة ونوجز هنا الخصائص المميزة لها وأسس التعامل معها لأنها تقوم بعملها علي أكمل وجه بالرغم من تقادمها وظهور الأجيال الأحدث. كما أن أداء المتممات الديناميكية يعتبر الأساس ومن المبادئ الأولية لفهم موضوع الوقاية في الشبكات الكهربية، ولهذا نضع هذا الفصل في بداية الدخول إلي موضوع الوقاية ككل وبشكل علم كي يتفهم الطلاب الدارسين لهذا المنهج سواء في كليات الهندسة أو المعاهد العليا أو المهندسين المتعاملين مع هذه الأجهزة كل المبادئ اللازمة لمثل هذا العمل.

1-3: مبادئ التمييز Discrimination base

عند وضع نظاما تشغيليا آليا متكاملا يجب أن تشتمل علي عددا من الأساسيات الهندسية الجوهرية كي يكون نظاما صالحا للعمل بكفاءة مقبولة من وجهة النظر الفنية والتكنولوجية وأن يكون قابلا للتطور ومواكبا له وعلي رأس هذه الأساسيات:

1- إمكانية التشغيل الآلي واليدوي معا

بوضع النظامين ليكفلا إمكانية التشغيل في جميع الحالات والأوضاع الميدانية.

2- التحكم في التشغيل الآلي بطريقتين

يجب ألا يتوقف التحكم فقط علي طريقة واحدة بل يجب أن يكون هناك أكثر من إمكانية فمثلا يكون هناك حجرة للتحكم يتم منها هذا الأداء بجانب أن يكون هناك مكانا آخرا مثل أحواش التشغيل في محطات الكهرباء ليكون بديلا عن حجرة التحكم عند اللزوم (عطل ما في أزرار التشغيل بحجرة التحكم مثلا).

3- حماية المعدات (كاملة وجزئيا حسب الأحوال) آليا

في بعض الحالات تكون المعدة مكونة من عدة أجزاء منفصلة فتكون هناك الحاجة الماسة لحماية المعدة ككل بجانب حماية كل جزء من أجزائها منفردا، وهذه الأوضاع كثيرة ومتكررة في الشبكات الكهربية سواء في المحطات أو في النقل والتوزيع ففيها نجد المولدات ذات أجزاء متعددة مثل المحولات أو حتي أدوات الفصل ذاتها.

4- حماية النظام كله آليا طوال وقت التشغيل

5- وضع النظم الشاملة لوقاية المنظومة من الخطأ

6- التمييز بين أجزاء المنظومة داخليا وخارجيا

إن التمييز يمثل أهم المعاملات التي يتوقف عليها أداء المعدات لأنه يجب التعامل مع المعدات بالمسميات مثل الأفراد فلكل منا أسم ثلاثي ورباعي وعن هذا الطريق وبهذا الأسم يمكننا التمييز بين فرد وآخر وبتحديد أكثر للهوية يكون هناك أسلوب البصمات للتأكد من أن هذا هو المسمي المعني فعلا بل وزادت كفاءة التمييز للشخص عن طريق الحمض النووي كبصمة جينية مؤكدة للشخص تمييزا دون غيره.
علي هذا النهج تقوم أعمال الوقاية ومن ثم يكون التمييز بالنسبة للأجهزة مسمياتها المتنوعة وللتعامل معها في كل حالة لا بد من تمييز هذه الحالة ولكل جهاز مستخدم لا بد أن يكون لها أسما مميزا وليس الأسم هنا في هذه الحالة يتحدد بالأسم وأنما عن طريق مسمس الأداء، ألا وهو تمييز أداء المعدة أو الجهاز. من هنا نستطيع التتوجه إلي معني العملية المعنية بالأداء فمثلا هناك جهاز يقيس التيار فهو متخصص لقياس التيار ومن ثم يكون التمييز له هو القياس من جهة وقيمة التيار من جهة أخري، وهكذا نجد أن المرحلات تتعامل بذات المبدأ حيث أن هذا المتمم يتعامل مع التيار والآخر مع الجهد فأصبحت هذه العملية هي التمييز (أي المسمي).
نحتاج إلي التمييز النوعي في أدوات التشغيل ضمانا لأفضل أداء للشبكة تحت كل الظروف سواء كان التشغيل العادي يدويا أو آليا أم التشغيل تحت الظروف الطارئة أو التشغيل الآلي بما في ذلك الفصل التلقائي أوالأخطاء الخارجية في التشغيل أو أثناء العمل ويحدث عادة التشغيل الخاطئ نتيجة لثلاث أسباب هي:

1- التصميم الخاطئ Incorrect Design

المقصود بالتصميم الخاطئ هو أن يتم التصميم بشكل غير صحيح أو من الناحية الأخري أن يكون التصميم منقوصا بمعني أن يهمل أي من العوامل الهامة المؤثرة في الأداء ومن ثم يصبح الجهاز غير عاملا عند هذه النقاط المهملة أو أن الجهاز سوف يعمل في إطار أقل من ذلك المفروض هندسيا وهذا المبدأ ينطبق علي كافة الأصعدة لذات الجهاز أو حتي لجميع الأجهزة منفردة أو مجتمعة معا سواء فس دائرة أو في منظومة وقاية.

2- التركيب الخطأ Incorrect Installation

في بعض الأحيان يكون التصميم سليما والأداء صحيحا ولكن تركيب الجهاز الفعلي يمنع من هذا التشغيل الصحيح ولذلك لا يتوقف الأمر علي التصميم وحده بل يمتد ليشمل ركن التركيب لهذا الجهاز وليس لهذا الجهاز بل وملحقاته من أجهزة مساعدة أو ملامسات وغيره.

3- التأثير الزمني علي الجهاز أو المعدة Deterioration

عملية التقادم وعمر الأجهزة يدخل قويا في هذا الميدان، حيث أن الجهاز عندما يتقادم يلحق به التلف الفعلي والعملي. يصبح بذلك الجهاز عاجزا عن أداء مهمته بذات الكفاءة التي يعمل بها نفس الجهاز وهو حديث، ولكن من الجهة الأخري تظهر هنا الفنيات الدقيقة مثل تآكل المعدن سواء كان ذلك تلقائيا بسبب عوامل التعرية أو كان بسبب الظروف المناخية أو حتي التآكل الفني مثلا كما يحدث للملامسات التي قد يعتريها التلف نتيجة كثرة التشغيل.

لهذه الأسباب نحتاج إلي منظومة متكاملة للوقاية ضد الأخطاء والأخطار علي عدة محاور:

المحور الأول: حماية مكونات الشبكة الموحدة Component Protection

نستطيع تحقيق هذا الهدف وهو حماية المكونات من خلال وضع أجهزة محددة لكل مكون من تلك الداخلة في تشكيل الشبكة الكهربية ضمانا لعدم تلفها ويجب أن تكون كافية وتضع كل الاحتمالات والاعتبارات التي تواجه مثل هذه المعدة كما أنه لا يجب أن تتعارض هذه الوسائل المستخدمة مع بعضها البعض بل يلزم أن تكون مكملة ومتكاملة معا.

المحور الثاني: حماية الأحمال العاملة بالشبكة Protection of Loads

علي الجانب الخاص بالأهمية نحتاج إلي حماية الأحمال العاملة بالشبكة بصفة مستمرة وباعتمادية عالية وعموما يمكن أن يتم تقسيم هذه الأحمال حسب دورها في الأهمية إلي مستويات نوضحها إيجازا كما يلي:

أ) المستوى الأول First Level

يشمل هذا المستوي عددا من الدرجات الداخلية مثل:

1- الاجتماعات الرئاسية وكافة الأعمال الخاصة بها

من البديهي أن يكون الإهتمام الأول لتغطية الحمل أن يتوجه إلي المواقع الرئاسية والأجهزة القائمة عليها ومن ثم يكون أول مستوي شاملا هذه المواقع وهي التي تحتاج إلي أقصي درجة من الإعتمادية.

2- مكاتب المسئولين

3 - البرلمانات

4- المناطق العسكرية

5- مراكز المعلومات المركزية

6- مواقع القادة والزعماء

ب) المستوى الثاني Second Level

يتميز هذا المستوي بتحديد تلك الأماكن ذات الأهمية القصوى مثل:

1- المناطق الأمنية

2- المناطق الصناعية الهامة

3- الملاعب الرياضية الدولية

4- قاعات الاحتفالات الرسمية

5- القري والمدن المتخصصة

ج) المستوي الثالث Third Level

يتضمن هذا المستوي الأحمال التالية:

1- الأحمال المنزلية

2- الأحمال الإدارية والحكومية والهيئات الشعبية

3- أحمال الطرقات والشوارع العامة

المحور الثالث: حماية العاملين في الشبكة Worker Protection

تعني عملية الحماية بالدرجة الأولي بالعاملين في مناطق التعامل مع الشبكة وعلي كافة المستويات ويلزم تطوير مستوي الأداء لهم وذلك من خلال:

1- الإطار الإداري والفني ونظم العمل

2- التدريب المستمر لرفع كفاءة العمل ببرامج التنمية

المحور الرابع: حماية المتعاملين مع الشبكة Human Protection

يجب وضع الضمانات الفنية لأي من المتعاملين سواء كانوا علي علم ودراية بالكهرباء أم لا مما يستوجب الآتي:

1- صياغة النظم الإدارية التي تمنع دخول أي فرد دون العاملين إلي مواقع الجهد الكهربي.

2- تنظيم أسلوب وخطوات عمل العاملين بالموقع

3- تحديد وسائل محددة لا تعتمد علي الغير لدخول غير العاملين سواء للزيارة أو المتابعة أو التدريب.

4- وضع كافة الأجهزة اللازمة لحماية أي شخص يقترب من هذه الشبكة.

أولا: الشكل العام للتمييز General Discrimination

لا بد من توافر عددا من الصفات المحورية في أي من الأجهزة أو الأدوات المستعان بها في نظم الوقاية وهي الصفات التي نلخصها على النحو:

1- السرعة Speed Quickness

يقصد هنا بكلمة السرعة سرعة أداء المعدة أو الجهاز المعني بسرعته لأداء المهمة المنوطة به وهنا في مجال الشبكات الكهربية تعني سرعة إجراء عملية الفصل التلقائي إذا ما حدث قصر أو خطأ تشغيلي قد يودي بعمر معدة ما من المعدات العاملة بالشبكة، وذلك يعني سرعة فقل أطراف القاطع الكهربي. يدخل هنا في هذه السرعة عددا من الأزمنة الأخري الداخلة في خطوات الفصل التلقائي بجانب زمن أداء المتمم ذاته.

تنقسم السرعة عموما إلي نوعين من السرعة من حيث وقت الفصل التلقائي وهي:

(أ) الفصل السريع quick

هوذلك الوقت الذي نكون في حاجة إليه حتي الفصل في الأماكن ذات الطاقة الكبيرة مثل محطات الجهد العالي وتتمثل في نوعين هما

1- الفصل الفوري Instantaneous tripping

2- الفصل محدد الزمن Definite time lag tripping

ب) الفصل البطيء المتأخر slow

ذلك الذي نحتاجه في شبكات التوزيع حيث المستهلكين والمتعاملين مع الشبكة غير العاملين المتخصصين وهنا تظهر الخواص سابقة التفصيل بأنواعها المختلفة وهو ما يميز أجهزة الوقاية (شكل 3-1) نري لنفس تيار الخطأ الواحد same fault إمكانية الفصل في أوقات متعددة حسب الأحوال وتبعا للمزمن المستخدم timer، كما أنه يتضمن كلا من النوع المتغير بالزمن المتأخر Inverse time lag tripping وكذلك الفصل الهام في بعض الأماكن المحددة وهو ذو الزمن المتأخر بقيمة أدني Definite minimum time tripping.

2- الاتزان Stability

هي تلك الصفة الأساسية لتواجد أي منظومة عمل كي تعطي كفاءة وجودة لها ويعتبر الإتزان من أهم الصفات المطلوبة في نظم الوقاية كل علي حدة والكل معا في آن واحد ويجب أن تكون المنظومة متزنة الأداء تحت كل الظروف بشكل عام وظروف الفصل التلقائي عند حدوث القصر أو الخطأ بشكل خاص أو حتى في الحالات الانتقالية والتي تتضمن كلا من تيارات البدء في المحركات وتيارات الدفع في المحولات إضافة إلي حالات التوصيل والفصل في الشبكة.

3- البساطة Simplicity

البساطة تعني أن يكون نظام الوقاية وأجزائه بسيطا وغير متكرر العمل واضحا وهي تتضمن العديد من الصفات الفرعية والجوهرية وهي التي يجب أن تتوافر بوضوح في كل هذه الأجهزة وأجزائها ودوائرها أيضا وهي:

(أ) سهولة متابعة الدوائر الكهربية والأطراف في التجارب الدورية
(ب) سهولة التأكد من سلامة الوصلات والأسلاك
(ج) سهولة رؤية الأخطاء الظاهرية
(د) بساطة إجراء الصيانة
(س) سرعة إستبدال الأجزاء المعيبة
(ش) التوفير المادي عند تلف الأجزاء نظرا لتغيير جزء صغير بدلا من الكل
(هـ) إمكانية عزل الدوائر الكهربية المكشوفة عن المتعاملين
(و) بساطة إجراء الاختبارات اللازمة

الشكل رقم 3-1 : تأثير ضبط السلم الزمني على سرعة الفصل

4- الاختيارية Selectivity

الإختيارية كواحد من أهم المحاور التي يرتكز عليها التخطيط الحديث للشبكات الكهربية حيث أن هذا يؤثر بشكل مباشر علي أهم وظائف المتممات داخل دوائر الوقاية الكهربية آليا لأنها تختص باختيار القاطع الكهربي المنوط به الفصل وتحديد (إختيار) التالي له في الإستعداد إذا ما فشل الأول في أداء المهمة الأصلية حتي تتوابع الكوارث علي بقية أجزاء الشبكة الكهربية.

تسير الاختيارية في إتجاهين أولهما يختص باختيار المعدة المطلوب حمايتها والثاني يتعلق باختيار زمن الفصل المناسب لها عند تجاوز المقننات القياسية لهذه المعدة وبهذا نجد أن الاختيارية تتضمن كلا من:

أ) النوع ذو الزمن المتدرج في الفصل time graded systems كنوع من التمييز الزمني.
ب) النوع المتتابع زمنيا (النوع المرحل للفصل) في نظم الوقاية في شبكات التوزيع المحلية unit systems وهو المتميز بالسرعة نوعا ما fast في الفصل أو السرعة المحددة للفصل

لكل من هذين النوعين يلزم وضع بعضا من الأسس التي يتأثر بها بند الإختيارية:

أ) تحديد مكان العطل Fault Allocation

يجب تحديد المكان القريب من الخطأ للفصل السريع ثم من يليه مرحليا كلما ابتعد القاطع المنوط به الفصل عن مكان الخطأ.

ب) تحديد نوع الخطأ Fault Type

يتم الاختيار تبعا لنوع الخطأ (شدة التيار أو الجهد أو الذبذبة) وذلك لأنواع الخطأ المختلفة:

1- ثلاثي الأوجه (3 Phase) المتماثل
2- الخطأ غير المتماثل

يدخل في هذا النطاق الأنواع المختلفة للخطأ والسابق تحديدها وهي: (الطور مع آخر – الطور مع الأرض – طورين مع الأرض)
في هذه الحالات (غير المتماثلة) نحتاج إلي الاعتماد علي نظام الترتيبات الثلاثية والتي تشمل كلا من الدوائر بنظام الترتيب المتتابع:

1- موجبة التتابع positive phase sequence

هذا الترتيب يتواجد في جميع الدوائر الكهربية وفي جميع حالات التشغيل العادية الإستقرارية أو العابرة وكذلك في كل حالات القصر علي السواء فهو ترتيب لا يختفي في أي حالة من الحالات التشغيلية.

2- سالبة التتابع negative phase sequence

هذا الترتيب لا يتواجد عادة مع التشغيل العادي المستقر والمتزن ولكنه يظهر مع بدء نظام الجهد والتيار في الإبتعاد عن الإتزان فيما بينهم حيث تنتقل نقطة التعادل إلي مكان آخر غير الصفري وكذلك تنشأ هذه المركبة عند حدوث القصر في بعض الأنواع من القصر دون غيرها مما يسهل مهمة تحديد نوعية الخطأ وهي مركبة تستخدم كنظرية في العديد من المتممات وفي دوائر الوقاية.

3- صفرية التتابع zero phase sequence.

هذه المركبة ذات علاقة مباشرة مع التوصيل مع الأرض وبالتالي فهي تتعلق بأسلوب التأريض حيث يكون هناك مسارا للتيار من خلال الأرض ولكنه من الضروري توضيح أن هذه المركبة تختفي في حالة الخطأ مع الأرض إذا ما كان الخطأ متماثل أي ثلاثي الطور معا أو معا مع الأرض. كما يختفي تبعا للمسمي من حالة الخطا بين طورين بدون أرض ومن ثم هذا يساعد في تحديد نوعية الخطأ.
من الجهة الأخري يمكننا التغلب علي تواجدها أو تقليل تأثيرها من خلال قطع الدائرة الصفرية من خلال فتح مسارها كهربيا ويتحقق هذا بما يلي:

1- عدم التأريض في كل نقطة تعادل
2- إستخدام محولات بتوصيلة الملفات دلتا / نجمة حيث لا يمكننا تأريض الملفات بتوصيلة الدلتا
3- وضع مقاومات عالية أو ملفات عند نقطة التعادل في بعض الأماكن لتقليل قيمة التيار الصفري
4- تحديد أهمية المعدة ذات التوصيل الأرضي في نقطة التعادل كي يتم فصلها مباشرة مع القصر.
5- مدي ومستوي أهمية الأحمال بالقرب من الخطأ كي يكون سريعا.

5- الاعتمادية Reliability

الاعتمادية هي الصفة التي تعني ضمان استمرارية التشغيل دون انقطاع وكلما ارتفعت هذه الدرجة كان مستوى التميز أعلى وأفضل وهي من النقاط الجوهرية لتلبية احتياجات المستهلك أو المشتركين كما يطلق عليها أحيانا مسمي العول أو مسمي الوثوقية.
هكذا يكون علي أجهزة الوقاية الإحساس بالخطأ ومن ثم تقوم علي العمل في التوقيت المحدد ولذلك يجب أن نمتنع عن التكرارية سواء في الأداء أو في أجزاء الدائرة ذاتها، ويلزم أن تكون المنظومة ككل كاملة وقوية التأثير. نحتاج دائما في تشغيل الشبكات الكهربية إلي رفع قيمة الإعتمادية وهو ما يعني تحسين مستوي الخدمة الهندسية والآلية لتشغيل الشبكة الكهربية، وذلك بتقليل إحتماليات القصر بقدر الإمكان ووضع دوائر الوقاية المناسبة لتغطية هذا الغرض.

6- الحساسية Sensitivity

هذه الحساسية تشير إلي مدي قدرة المتمم علي تمييز تيار الخطأ أو تيار التشغيل العادي في حالة التيار وبالمثل للجهد أو القدرة وغيرها لأنه في بعض الحالات لا يستطيع الجهاز التفرقة بين حالتي التشغيل العادي أو الطارئ وحالة القصر أو الخطأ أو حتي بعض حالات التجاوز المسموح بها أحيانا وعندئذ نحصل علي الحالات التالية:

(أ) حساسية دائما منخفضة

هذه الحالة تعني أن حساسية الجهاز بحدوث قصر أو خلل مطلوب ضبطه منعدمة أو فوق المنعدمة وبالتالي تكون الحساسية منخفضة، هذا بالتبعية يشير إلي أن الحساسية منخفضة لكل الحالات التي قد تحدث. هكذا يكون القصر المتماثل مثلا غير محسوس أو قد يكون الإحساس به ضعيفا يقرب من تجاهله ويتمثل في كافة العيوب الأخري من القصر غير المتماثل. هكذا يلزم تغطية هذه الوقاية (ضعيفة الحساسية) بوقاية أخري كنوع إحتياطي.

(ب) حساسية دائما عالية

مع الحساسية العالية يقوم الجهاز بأداء عمله علي أحسن وجه، إذ أنه يتمكن من التعرف علي الخطأ المتواجد بالشبكة بشكل جيد يعطي الأمكان لحماية الأجهزة والمعدات - بجانب أنه يكون فعالا ضد أي نوع من أنواع القصر. لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل يكون حساسا أيضا للقصر بكافة أنواعة في الأماكن المختلفة بالشبكة في كل الأوقات، لذلك يمكن الإعتماد علي هذه النوعية ذات الحساسية العالية دائما والتعامل معها براحة كاملة (بدون قلق).

(ج) حساسية دائما عالية ولكنها تنخفض أحيانا

يقع هذا البند مع حالة تحدث وتتكرر كثيرا في الشبكات الكهربية علي وجه العموم حيث يكون المتمم حساسا بصفة دائمة للخطأ الذي يقوم بقياسه والعمل فصلا بناء ما يقيسه ولكن ليس في كل الحالات إذ يقل هذا الإحساس ويصبح منخفضا أحيانا وليس كل الوقت. هذا يعني أن هذا المتمم يعمل مع غالبية الأجهزة الوقائية بينما قد يعمل أو لا يعمل في أوقاتا نادرة.

(د) حساسية دائما منخفضة بنما تكون مرتفعة جدا في بعض الحالات

الحساسية المنخفضة دائما كمبدأ تكون هي السائدة وقد تحدث هذه الحالة أحيانا ولكن بشكل قد يندر تواجده بينما يكون علي العكس في بعض الأماكن من الشبكة الكهربية أي يكون حساسا بشكل مفرط لهذه النوعيات من الخطأ او حتي لمكان محدد في الشبكة ومن ثم يكون علينا استبعاد مثل هذه الحالات إلا إذا تم الاستعانة به في الوقاية ضد تلك الحالات التي ترتفع فيها حساسية الجهاز بوجود الخطأ أو القصر.

هذه النوعيات الأربعة قد تتمركز إحداها مع أحد أنواع المتممات وقد تزدوج هذه الصفة لتصبح صفتين في أوقات مختلفة تبعا لنوع ومكان القصر فعندما مثلا تصل الشبكة أو المعدة تحت الحماية بكامل الحمل قد تختلف عن نصف الحمل المقنن او بدون احمال أو من الجهة الأخري عندما يكون القصر قريبا غير أن يكون مباشرا أو عن القصر في مواقع بعيدة تماما وهي كلها متواجدة بالفعل علي الساحة كما سيظهر ذلك لاحقا في الفصول التالية من حيث أن الحساسية تعتمد علي نوعية المتمم أو علي نظرية عمله أو علي مكونات الدائرة ذاتها أو حتي علي نوعية القصر أو الخطأ وهكذا. لذلك يجب أن تتوافر صفة الحساسية في كلا النوعين وهما:

النوع الأول: حساسية المتمم

من الضروري الإهتمام بحساسية المتمم حيث يلزم اختيار النوع الملائم من المتممات الذي يستطيع توفير القيمة الأعلى من الحساسية إضافة إلي اختيار القيمة تحت القياس كي توفر حساسية وتفرقة واضحة بين الحالتين أو حتي بالمقارنة مع بقية الطرز التي قد تغني عنه إن كان هذا متاحا.

النوع الثاني: حساسية دائرة الوقاية

حيث يتم وضع المعيار المطلوب مع القيمة المرجعية لتحديد الحالة من عادية إلي حالة قصر يلزم فصله وتتبع القدرة المستهلكة في دائرة الوقاية عند القيمة الدنيا للتيار الفعال وتصبح الحساسية عالية، فالعلاقة الرياضية بين القدرة والتيار هي:

$$I^2 \ Z(\text{relay}) = (VA)_b \qquad (3\text{-}1)$$

7- الإخطارية Signaling

يلزم أن تتوافر في المتمم أو دوائر الوقاية عموما كل علي حدة أو مجتمعة التمييز الإخطاري التالي:

(أ) عملية الإعلان عن وجود الخطأ

يجب أن يتم ذلك بشكل مميز أيضا عن بقية الحالات فتكون مثلا آلة التنبيه الصوتي (السرينة Horn) المزعجة صوتيا بجانب الإشارة الضوئية المتقطعة Flickering

(ب) توفير نوع تنبيه محدد لكل عملية تغيير

يكون التغيير هنا مرجعيا للحالة السابقة أي الحالية قبل التغيير ولذلك عند حدوث أي تغيير عن الحالة السابقة يلزم التنويه، وهو ما يتم من خلال الجرس العادي أو بأسلوب الضوء المتقطع

(ج) تحديد مكان الخطأ في الدائرة الأم بالشبكة

يمكن أن يتسني تحديد الخطأ من خلال الإخطار المرئي تسلسليا داخل حجرة التحكم بسهولة وبساطة إلي خلايا التحكم المتتالية تحديدا لمنبع الخطأ الحادث في آخر خلية فرعية.

8- قابلية الإضافة Extension ability

نحتاج إلي مثل هذه الصفة لتواكب التغير المستمر في حجم الشبكة ويلزم هنا بعض الشروط عند الإضافة وهي:

(أ) سهولة الربط بين القديم والجديد

(ب) عدم التداخل بين الوقاية القديمة والجديدة

(ج) إمكانية الضبط المتتابع لرفع مستوى الحساسية ومواجهة أية إضافات في الشبكة الكهربية

ثانيا: التمييز في دوائر الوقاية *Discrimination in Protective Circuits*

تتكون دوائر الوقاية من مجموعة المتممات ومحولات القياس وكذلك منبع الجهد معا في دائرة واحدة ذات صفات محددة وهو ما يعطي لها صفة دائرة وقاية، ولهذا يجب أن تتميز كل دائرة وقاية بمميزات خاصة:

1- أن يتمتع كل متمم داخل الدائرة بالخواص السابقة في البند السابق (أولا)

2- بساطة الدائرة الكهربية مما يؤدي إلي بساطة التفتيش الهندسي عليها أو ما ينعكس علي أعمال الصيانة الخاصة بها فيجعل التعامل مع الدائرة بسيطا وسريعا وبدون مجهود.

3- أن تكون قليلة الفقد الكهربي للتشغيل أثناء الفصل التلقائي حتى تعطي الفرصة لمنبع التيار والجهد بتوفير القدرات المختلفة لكافة الدوائر والتي تعمل غالبا في آن واحد

4- أن تكون غير مستهلكة للطاقة وقت التشغيل العادي للشبكة الكهربية أو أن تكون عند أدني مستوي لاستهلاك الطاقة في الحالة الساكنة لدائرة الوقاية

5- أن تكون الدائرة ذات حساسية عالية للغرض المناط بها

6- أن تكون الدائرة ذات تصميم يسهل الاختبارات الدورية بدون عائق أو مشكلات

7- عدم التكرار بين أغراض الفصل أو وسائل الفصل

8- الاتزان الكامل أثناء التشغيل العادي بدون أخطاء أو التشغيل أثناء حدوث القصر.

بناءا علي ما سبق نجد أن دوائر الوقاية تعمل علي محورين هما:

المحور الأول: التمييز لنوع الخطأ Type of Fault

هذا النوع من التمييز كمحور للنوع المخصص له يتحدد علي ضوء نوع الخطأ الحادث في الشبكة وهو ما ينقسم إلي فرعين:

الفرع الأول: خطأ مع الأرض Fault To Earth

يختص هذا النوع بالخطأ ذو الاتصال مع الأرض في حالات الخطأ والتي تسمح بمرور التيار في الأرض وهو المعروف باسم المركبة الصفرية zero sequence current أو يتسبب في ظهور جهد علي نقطة التعادل وهو ما يسمى باسم residual voltage at neutral point وفي أي منهما نجد أن التعامل معهما يمثل حالة طارئة غير مستقرة ويجب إعادة الأوضاع إلي حالة التشغيل العادي .

وتعتمد هذه التيارات علي عدد من العوامل هي مقاومة التربة التي يمر بها التيار (تتراوح من 10 أوم متر للتربة الرطبة عضوية التكوين إلي 100للرطبة و 1000 للجافة و10000 للصخرية ويمكن تقليل المقاومة بإضافة مواد كيميائية مثل البتونيت أو الماركونيت أو كلوريد الصوديوم وأحيانا كبريتات الماغنيسيوم) ودائرة المركبة الصفرية وهي التي تعتمد علي شبكة التأريض والتي تتنوع بشكل كبير حسب حجم الشبكة والتيارات الصفرية بها . كما تظهر أهمية أسلوب التأريض للشبكة الأصلية وهو ما ينحصر في التأريض المباشر حيث يتم الاتصال مع الأرض مباشرة إما من خلال مقاومة أو ممانعة أو ذلك النوع من التأريض من خلال محول وفي جميع الأحوال نصل إلي تقليل قيمة التيار الصفري بقيمته الدنيا الممكنة.

الفرع الثاني: خطأ بعيدا عن الأرض Fault without Earth

يمثل هذا الخطأ غير المتماثل ويأتي بتيارات لا تشمل المركبة الصفرية مثل قصر ثلاثي الطور سواء كان مع الأرض أو بدون إتصال مع الأرض وهي كلها أخطاء يتسبب عنها أوضاع خطرة علي المعدات والمولدات والمحولات بالشبكة ومنها تلك الحالة عندما يظهر النظام السالب.

يتفرع كلا من الفرعين إلي خطأ متماثل symmetrical أو غير متماثل unsymmetrical ففي الخطأ المتماثل وهو القصر ثلاثي الوجه وهو إما أن يكون متصلا مع الأرض (الفرع الأول) أو قصر بين الأوجه فقط دون الأرض (الفرع الثاني) وكذلك يتم تصنيف النوع الثاني من الخطأ غير المتماثل أي خطأ غير متماثل متصل مع الأرض (الفرع الأول) أو غير متصل مع الأرض (الفرع الثاني) وهكذا نستطيع وضع نوع الخطأ بالشكل:

(أ) قصر متماثل مع الأرض

مثل القصر 3 أطوار مع الأرض أو 3 أطوار بدون التوصيل مع الأرض

(ب) قصر غير متماثل مع الأرض

يشمل هذا الخطأ حالتين محددتين هما: وجه واحد مع الأرض أو وجهين مع الأرض

(ج) قصر بدون الأرض بين الأطوار الثلاث (متماثل)

(د) قصر بدون الأرض غير متماثل

يشمل وجه مع آخر

كما يمكن التمييز بينها بطريق آخر من خلال القيمة كخطأ فتكون:

1- قيمة الجهد

2- قيمة التيار

3- قيمة القدرة (موجبة أو سالبة)

4- قيمة المقاومة المقاسة (الوقاية المسافية)

5- قيمة الذبذبة

نستطيع ايضا أن نضع هذا التمييز بشكل آخر وهو ما يتبعه التمييز المرحلي وهو ما يمكن أن نضعه في:

1- قصر شديد الخطورة

هذا الخطأ يعني الخطورة علي المعدة ومن ثم لا بد وأن يكون الفصل سريعا مثل حالات القصر في ملفات المولد أو المحولات والقضبان الرئيسية في المحطات.

2- قصر متوسط الخطورة

يعتبر زيادة التيار من أهم المعاملات التي قد تدخل تحت هذا البند حيث تكون الخطورة هائلة ولكنها قد تكون بعيدة التأثير ويدخل هنا جزءا من الوقاية المسافية.

3- خطأ قليل الخطورة
يدخل في هذا النطاق أخطاء تجاوز الحمل أو القصر البعيد غير المؤثر
4- خطأ منعدم الخطورة
ينعدم تأثير الخطأ بأن نستطيع تجاهله وذلك مثل تحرك نقطة التعادل في النظم الكهربية عند شبكات التوزيع وكذلك الارتفاع الحراري للكابل داخل الحدود المسموح بها استثنائيا وأيضا التحرك الطفيف للذبذبة أو التفاوت المسموح بقيمة الجهد عند التوصيل مع الشبكة (التزامن).

المحور الثاني: التمييز لمكان الخطأ Fault Location

أما من الناحية الأخرى فنجد دوائر الوقاية قد تختص بأداء عمل محدد للتمييز عن مكان الخطأ كدائرة وقاية مستقلة فنجد ذلك يتمثل في:

(أ) الوقاية التفاضلية Differential Protection

هي لحماية الملفات سواء في المولدات أو المحولات لتحديد مكان الخطأ إذا ما حدث داخل الملفات نفسها

(ب) الوقاية لاتجاه التيار أو القدرة Directional Protection

تستخدم هذه النوعية من الوقاية لتحديد مكان الخطأ عندما يتغير اتجاه سريان القدرة ليصبح في اتجاه الخطأ بدلا من الاتجاه الصحيح والمحدد مسبقا لمرجع الإتجاه

(ج) وقاية المسافة Distance Protection

أنها ضرورية لتحديد مكان الخطأ أو القصر علي طول مسار الخطوط أو المغذيات أو الكابلات وهي كلها ذات صفة المسافة الطويلة.

المحور الثالث: زمن الفصل Clearance Time

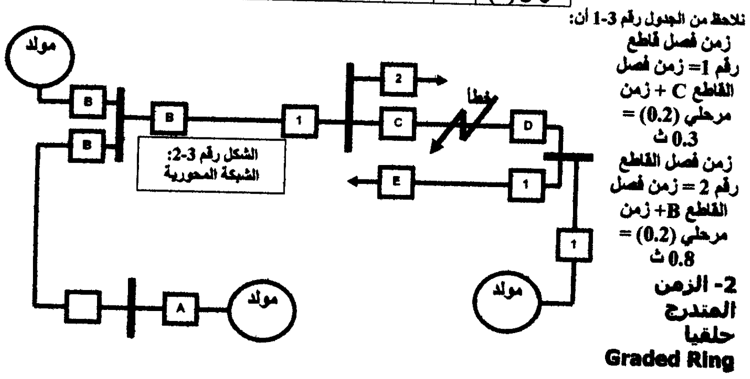
التمييز الزمني علي هذا المحور يتأثر بعدة معاملات فنجد أن دائرة الوقاية المختصة تقوم بحساب الزمن اللازم للفصل التلقائي كدائرة مستقلة وهي التي يمكن ضمها بعد ذلك داخل منظومة الوقاية كما سيتم الشرح في الفصول القادمة. داخل هذا المحور نتعامل مع الزمن ذو العلاقات المختلفة والتي يتبعها المتمم الزمني timer كما يتم توزيع هذا الزمن علي طول مسارات وأماكن نظم الشبكات الكهربية ذاتها فنجد الزمن المتدرج مع الشبكات الحلقية والزمن المتدرج أيضا مع الاعتماد علي تحديد اتجاه واحد لسريان القدرة والزمن المتتابع مع شبكات التوزيع، ويضاف إلي ذلك زمن المصهر في أداء الفصل خصوصا علي مستوي شبكات التوزيع والجهد المنخفض.
هكذا نستطيع وضع محاور التمييز الزمني علي النحو:

1- الزمن التسلسلي Sequential Time

يمثل هذا المحور التتابع المتتالي في الفصل للقواطع علي طول المسار بالشبكة وهو المتعلق بالشبكات الكهربية محورية التوصيل كما نراه في الشكل رقم 3-2 حيث الشبكة المحورية لمولدات وخطأ في منتصف الشبكة ويعطي الجدول رقم 3-1 زمن الفصل لكل قاطع محدد بالشبكة وهو فصل مرحلي تبعا للقرب من محطة التوليد.

الجدول رقم 3-1: زمن الفصل لكل قاطع بالشبكة المحورية

القاطع	C	D	B	E	A	1	2
الزمن (ث)	0.1	0.1	0.6	0.6	1.2	0.3	0.8



الشكل رقم 3-2: الشبكة المحورية

نلاحظ من الجدول رقم 3-1 أن:
زمن فصل قاطع رقم 1= زمن فصل القاطع C + زمن مرحلي (0.2) = 0.3 ث
زمن فصل القاطع رقم 2 = زمن فصل القاطع B+ زمن مرحلي (0.2) = 0.8 ث

2- الزمن المتدرج حلقيا Graded Ring

نتيجة التشابك بين المحطات والخطوط الكهربية داخل الشبكة الموحدة تتعقد الأمور عند التعامل معها ككل ولذلك يأتي عنصر التمييز كواحدا من الأسس الهامة التي تغطي كافة الأغراض ولذلك كما نجد النظام المحوري السابق (الشعاعي) نجد أيضا النظام الحلقي ومن ثم نتعامل مع النظام الأخير علي مبدأ قد يختلف عن ذلك السابق ويتبع في ذلك طريقتين:

أ) نظام غير محدد الإتجاه Non Directional

ذلك النظام هو الأكثر إنتشارا في مجال الوقاية وهوالمعروف بالاسم الإنجليزي:

Non Directional Ring With Graded Protection

وقد تم توضيح مبدأ التعامل من خلال هذا النظام في الشكل رقم 3- 3 حيث نري كيفية أسلوب تسريع الفصل التلقائي نتيجة لوجود محطة التوليد.

ب) نظام محدد وغير محدد الإتجاه Directional and Non Directional

نتعامل هنا بالأسس السابقة مع إضافة جزء جديد محدد للإتجاه وهذا النوع من الضبط أفضل عن سابقه ويعتبر الأمثل إذا كانت الحسابات صحيحة وله المسمي باللغة الإنجليزية:

Directional and Non Directional Ring With Graded Protection

كما تظهر أهميته بالقرب من محطات التوليد حيث أنه إذا ما كان الخطأ مسببا تيارا إلي المولد يكون الفصل سريعا بينما يكون قاطع معه وعي نفس القضبان ويفصل متأخرا نتيجة لعدم تحديد إتجاه عند التمييز للفصل كما في الشكل رقم 3-4.

3- الزمن التعاكسي Inverse Time Lag

هناك علاقة وطيدة بين التيار والزمن المطلوب خلاله الفصل التلقائي وهذه العلاقة معطاه في الشكل رقم 3-5 فنري من الشكل أنه كلما كان التيار هو المقنن كاملا فلن يتواجد أي فصل وهو المبين بالسطر الأفقي تحت المنحني، أما إذا ما زاد التيار عن المقنن يبدأ الخطر يظهر علي المعدة أو المعدات ويبدأ زمن الفصل يظهر (المنحني) حيث تكون المدة متدرجة بشكل عكسي وليس خطيا عكسيا بل أسيا عكسيا. ذلك معناه أنه كلما زادت قيمة التيار كلما أسرعنا في الفصل بسرعة أكبر.

ثالثا: التمييز في منظومة الوقاية
Discrimination in Protective Systems

تتكون منظومة الوقاية من عدد من دوائر الوقاية ولذلك فإنها لابد وأن تشمل دوائر ذات تمييز وخواص كما ذكرت في البند السابق (ثانيا) والخاص بالتمييز في دوائر الوقاية إضافة إلي عددا من الصفات الهامة وهي:

1- عدم التداخل بين الدوائر المختلفة بها
2- دقة الاختيارية للأداء فيها
3- تحديد مناطق الوقاية بين الدوائر فيها
4- سهولة الاختبار

بعد هذا الإيجاز فأصبح تحت هذا العنوان من المتاح الربط بين دائرة وقاية ذات تمييز مكاني مع أخري ذات تمييز لمكان الخطأ أو لنوعه أو لثلاث معا وبذلك يظهر نوع التمييز هنا مع منظومات الوقاية من النوع المختلط لنوعين أو أكثر من تلك التي وردت في دوائر الوقاية.

1.0 ث
1.0 ث
1.5 ث
B
1
C
D
B
E
1
A
مولد
2.0 ث

الشكل رقم 3-3: الشبكة الحلقية غير محدد الإتجاه

رابعا: التمييز لشبكة الوقاية Discrimination in Protective Gear

تتجمع كل منظومات الوقاية التي تتعامل مع المحطة أو الشبكة في موقع ما في هذا النمط من المسمى وهو ما يطلق عليه هنا شبكة الوقاية مما يعني مجموعة من منظومات الوقاية متفرقة موقعا ولكنها تتعامل باسلوب الفريق الواحد، فكل منظومة مستقلة تعمل علي وقاية جزء محدد داخل المحطة ويتم التنسيق الآلي بين هذه المنظومات للعمل سويا بمنهجية واحدة، ولذلك ينبغي توافر الخواص التالية:

1- تحديد الفواصل بين مناطق الوقاية وزمن فصل كل منها
2 - دقة الاختيارية
3- استكمال الوقاية الاحتياطية للمنطقة ككل
4- سهولة الاختبار

في النهاية نجد أن التميز في أسلوب الوقاية ككل يخضع لبعض الأبعاد نحددها فيما يلي:

1- البعد الزمني وهو ما تم شرحه باستفاضة ولا يحتاج إلي المزيد
2- بعد المسافة ويعتمد علي ثلاث أنواع هي الاتجاه أو النوع المرحلي أو الوقاية الاحتياطية Back up
3- بعد القيمة value ويوضع بثلاث مجالات وهي إما داخل أو خارج نطاق القيمة أو علي النطاق تماما
4- بعد الفصل الخاطئ False tripping وهو ما يشير إلي حالتين أما إعادة التوصيل re-closing أو عدم إعادة التوصيل وبالنسبة لحالة إعادة التوصيل فله طريقان هما إعادة التوصيل التلقائي كما في شبكات الجهد الفائق أو إعادة التوصيل اليدوي مثل كابلات التوزيع الكهربي والمغذيات في شبكات التوزيع علي الجهد المنخفض.
5- بعد مختلط mixed وهو ما يمكن أن ينتهج أسلوب التعامل مع كل الأبعاد السابقة بشكل أو آخر معا في بوتقة واحدة ورؤية موحدة.

2-3: أنواع المتممات Types of Relays

متممات القياس meter relays تتمتع بمدي واسع للقياس قيمة ونوعيات كما أن المبينات الرقمية digital indicators تقدم الإمكانية للمشاهدة علي الشاشات الإلكترونية monitoring بجانب القياس الدقيق علاوة علي القدرة علي التحكم control في أي من المعاملات تحت القياس. بطبيعة الوضع المتمم يتميز بالدقة العالية في الأداء ومن ثم توضيح المبينات indicator accurate بجانب إمكانية الإكثار من نقاط التلامس set points الخاصة بالضبط وهذه النقاط هي التي تسبب تشغيل المبينات ووسائل التنبيه والإنذار إضافة إلي دوائر التحكم المختلفة لمتابعة أداء العمل المنوط به. هذه الخصائص مناسبة تماما لتشغيل وقاية ضد إنخفاض الذبذبة load shedding application للشبكة الموحدة علي أطراف شبكة التوزيع الكهربي. من المتممات ما يمكن وضعه في التنسيق التالي:

تشتمل المتممات Relays عادة علي عدد من نقاط التوصيل Pin Plug-in تتراوح ما بين 8 إلي 11 نقطة، كما يتزاحم منه أصنافا مختلفة مثل:

الشكل رقم 3-4: الشبكة الحلقية غير محدد ومحدد الإتجاه

1- متمم إعادة البدء التلقائي Automatic restart relay
2- متمم التحكم الآلي Automation and control relay
3- متمم مساعد في الصناعة Auxiliary industrial relay
4- المتمم الباحث عن الشرارة Arc detecting relay
5- متمم التحكم في القاطع الكهربي Circuit breaker control relay
6- متمم وقاية القاطع الكهربي Circuit-breaker failure protection relay
7- متمم التسرب الأرضي Differential earth leakage relay
8- متمم إعادة التوصيل التلقائي reclosing relay

يجب أن تتوافر الشروط التالية في المتممات بصفة عامة:

1- إمكانية الضبط الزمني مع التشغيل بالتيار الكهربي أو بدونه في زمن قصير
2- الإعتماد علي سياسة المراحل المتتابعة للفصل
3- السماح بأسلوب الوقاية بالاشارات اللاسلكية
4- الإعلان عن إنتهاء الخطأ
5- التشغيل العادي بدون خطأ بأن يكون المتمم بدون تيار

من الجهة الأخري تأتي الملامسات Contactors كجزء رئيسي في دوائر الوقاية وهي ما تعني نقاط التوصيل وهي أما أن تكون ملامسات مستقلة تضاف إلي المتمم أو أن تكون هي ذاتها المتمم بالفعل ومن ثم يصبح المسمي هو متمم الملامسات Contactor relay وفي الناحية الأخري نجد أن المزمنات Timers تمثل جزءا هاما في الوقاية حيث أنها أحد أنواع المتممات بصورة عامة.

هذه المتممات قد تتنوع أيضا عددا متغيرا متباينا في الأداء وهي ما يمكن أن تعمل مع النظم آلية التحكم automatic control systems مثل:

1- متممات ترتيب المركبات Phase sequence
2- عدم التوازن unbalance
3- قياس الحرارة Thermistores relay
4- المتمم الحساس للتيار Current sensitive relay

تعمل هذه الأنظمة آليا بوضعيها اليدوي والآلي ففي الوضع الأول إشارة الأنالوج من القياس تعزل بمفردها وترسل إلي دوائر الفصل، أما مع الوضع الآلي تعاد أرسال الإشارة هذه مباشرة إلي الجهاز (الدائرة) المختص.

تيار القصر

الشكل رقم 3-5: خصائص الزمن التعاكسي

التيار المقنن (الكامل)

زمن الفصل

وقاية النظم الكهربية Protection Power System تحتوي العديد من المتممات متعددة الغرض multifunction protective relays وعليها تغطية كافة الأخطاء والأعطال بأسلوب بسيط simple operation متقدم وآليا تبعا لمتطلبات الشبكة والأحمال معا.

هذه المتممات هي التي عملت محل العديد من المهام الأساسية فمنها ظهرت ما يمثل اليوم الكاشفات Detectors أو الحساسات Sensors مثل حساسات الضغط Pressure sensors او محولات الطاقة Transducer أو تلك التي عملت مثل المفاتيح مباشرة مثل تلك التي تعرف باسم مفاتيح الضغط Pressure switches.

تتنوع المتممات الديناميكية خصوصا لتعمل بمختلف الصفات ومنها:

أولا: محولات الطاقة transmitter

تعمل هذه المحولات للضغط مثل باقي المعاملات الممكنة والتطبيقات الأخري معتمدا علي خصائص التشغيل كمقاومة الجهاز والدقة العالية المطلوبة وقد تظهر منها طرزا وأصنافا:

النوع الأول: محولات الضغط مع درجات الحرارة العالية High temperature pressure transmitter

النوع الثاني: محولات للضغط المنخفض Low Pressure Transmitters

النوع الثالث: محولات الطاقة لضغط الإنصهار في البثق Melting pressure transducer for extruders

هذه النوعية الثالثة من محولات الطاقة تتخصص للعمل في البيئة القاسية وخاصة الصناعات البثقية وتلك التي تتعامل مع البوليمرات Polymer Processing Industries ولها من الدقة ما يمكنها من التعامل مع أي شروط مطلوبة.

محولات الطاقة transducer عموما لها من المزايا Advantages المتعددة والتي يمكن حصر أهمها في:

1- دقة القياس مرتفعة High accurate
2- من الممكن التعامل مع درجات الحرارة العالية والتي قد تصل إلي 250°م 250°C
3- سهل التعامل مع التكنولوجيا المتقدمة
4- متاح له التعامل مع لقياس مستوي السوائل (مع العوامات)
5- له من مقننات الجهد والتيار مدي واسع *0...5 V, 0...10 V, 0.5...4.5 V and 4...20 mA output*
6- دقة عالية أفضل من ±0.1% مع الحساسات السعوية ceramic capacitive sensor كمحولات صناعية بجانب الإتزان التام long term stability
7- بساطة المعايرة *simple calibration* مع الحدود المختلفة للقياس *ability limits range*

ثانيا: مفتاح الضغط الهيدروليكي Hydraulic pressure switch

هذا المفتاح يعمل علي عدة محاور منها:

1- مفتاح تيار خفيف مع الضغط أو التخلخل *Low current non adjustable pressure / vacuum switch*
2- مفتاح الضغط السعوي Capacitive pressure switch

ثالثا: حساسات آلية sensors

هي أساسا للضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic pressure sensor
ينتشر إستخدام هذا النوع من المتممات ومنها بعض التطبيقات مثل:

النوع الأول: حساسات ضغط Pressure Sensors

تتعدد أصنافها وشكلها ومكوناتها فنجد منها:

1- حساسات تكبير Amplified Pressure Sensors
2- حساسات معايرة Calibrated Pressure Sensors

3- حساسات تعويض Compensated Pressure Sensors
4- حساسات قياس بارومترية Barometric Pressure Sensors
5- حساسات أساسية Basic Pressure Sensors

النوع الثاني: حساسات متنوعة الأغراض

تتباين الأهداف والحاجة إلي حساسات للعمل في كافة المجالات ومن ثم نضع تقسيما عاما في الصورة:

1- حساسات صلب لا يصدأ Stainless Steel

2- حساسات التآكل المعدني

هي كتلك الحساسة لتواجد التآكل الخفيف البسيطPressure Sensors for Lightly Corrosive

3- حساسات لنبضة الضغط Pressure wave sensors

يستعمل عادة بهذا النوع من التقنيات pressure wave technique في وسائل النقل العام public transportation وخصوصا لأبواب الحافلات door opening system كما يكون تطبيقه مناسبا للمصحات والمستشفيات الكبري sanitary area.

4- حساسات لأغراض أخري

تتعدد مجالات التطبيق والإستخدام مثل:

1- متحكمات Electronic Controllers

أنها تتحكم في المعاملات تحت القياس مثل:(ضغط – حرارة – مستوي سوائل – زمن)

2- البحث عن الوضع المخالف

هذا الوضع هو المرجع والمحدد مسبقا مثل تآكل المواد والمهمات أو ظهور علامات ومؤشرات مسبق تحديدها.

3- حساسات الفجوات Cavity sensor

هذا النوع يصلح لأغراض السباكة injection molding وتشكيل أو قولبة المعادن.

4- حساسات تفاضلية Differential sensor

يعمل علي الجهد الضئيل والذي يصل إلي عددا من الملي فولت ومن الممكن أن يكون رقميا وبالتالي يصحبه الحزم البرامجية الخاصة به وهو يستخدم في الطيران Aerospace وقياس العمق Automotive Barometers Depth وفي الأعمال البحرية Marine Offshoreوفي الصناعات الإلكترونية وإختبار أشباه الموصلات Industry Semi-Conductor Laboratory Test وفي المعايرة في أعمال السكك الحديدية Calibration Railways Clean Room بجانب معامل الضغط العالي HVAC

5- حساسات السطح التكاملية Sensor interface IC

هو عبارة عن حساس متعدد القنوات multi-channel Sensor ويعطي ديناميكيا generates dynamically في أغلب الأحوال حوالي 3 إشارات نتيجة التيار والجهد الكهربي من خلال التحكم في مقاومة القنطرة controlled resistance bridges مع الإمكانية في تغيير الحساسية وهو يقدم نظم التحويل من الأنالوج إلي النظم الرقمية systems with A/D وهذا ما يجعله مسايرا للتطور الحادث في التقنيات العالية.

يساعد هذا الجهاز علي الإتزان الحراري بالمعايرة المستمرة مع القيمة المرجعية فهو يعتمد علي الإشارات العالية (الواضحة والمميزة) علاوة علي أنه يستهلك القليل من الطاقة. إضافة إلي ذلك فهو قادرا علي تقييم الإشارات التفاضلية بالاستعانة بمقاومة القنطرة في الدائرة الكهربية.

النوع الثالث: حساسات الأنالوج Analog sensor

يناسب هذا الحساس الأعمال الصناعية ويتميز بانخفاض سعره وحجمه كبير نوعا ما ويمكن أن يعمل مع النظم التفاضلية ويعمل علي الضغط المنخفض أو العالي وله إمكانية إخراج رقميDigital Output ويتمتع بالتوافق مع أداء عملية التكبير في القياس أو النتائج

رابعا: القياس الميكانيكي Mechanical melt pressure gauge

تتنوع أصناف الأجهزة المستعملة في هذا الصدد وخاصة لنقاط الصهر الميكانيكي Mechanical مثل:

1- قياس الإنصهار الميكانيكي pressure gauge melt

يقدم هذا الطراز غالبا العلاقة المباشرة بين الإنصهار الميكانيكي والقياس الإلكتروني المرادف line of robust Mechanical and Electronic Melt Pressure Gauges، ويكون خاصا وملائما للظروف البيئية القاسية harsh environments العاتية أحيانا rugged مثل ما هو الحال في الصناعة الإنبثاقية للتشكيل Extrusion Industry، من الناحية الأخري يمكن الإستعانة بهذا النظام إما للقياس فقط measurement أو لتأمين وأمان التشغيل safety تحت الرعاية

2- مبينات ضغط الإنصهار Melt Pressure Indicators

3- المنبهات Alarms

أنها عبارة عن أجراس تنبيه أو السرينة في بعض الأحيان

4- نواقل منمنمة Miniature transmitter

تعتبر هذه النواقل من المساعدات الهامة في شبكات الوقاية الخاصة بالنظم الكهربية حيث نحتاج إلي إرسال البيانات الموجودة بالمحطة إلي مركز التحكم المختص بل وقد يكون هذا الإرسال معمما في حالات أخري، وذلك ما سوف يتناوله هذا الكتيب في الفصول الأخيرة. نجد أيضا أن هذا النظام يتعامل بكثرة مع الضغط pressure وقياساته لبساطته، كما يستعان به في دورات السوائل المعقدة.

هكذا ينطلق النوع المتطور منه ليواكب سريان السوائل والغازات والهواء air flow ويكون متعدد الأداء Multifunction transmitter sensor فمثلا يكون قادرا علي تمييز درجة الحرارة temperature وأيضا الرطوبة humidity أو الضغط pressure أو سرعة الهواء air velocity كما أنه يتميز بإمكانية ضبط قيمة اللقط أو الغمز وغالبا ما نحتاج هذا الضبط المرحلي تبعا للقياسات التكنولوجية Interchangeable measuring sensor (SPI technology) ويكون ذلك الضبط حول الصفر (فوق/تحت) كما يسمح بوضع أربعة معاملات في نفس الوقت Simultaneous display of parameters

يعمل هذا المفتاح بالنظام التفاضلي علي الضغط ويكون ملائما للعمل في آليات التكييف air-conditioning والتهوية Ventilation لمتابعة monitoring سريان الهواء air flow في المجاري الهوائية air duets وفي المرشحات filters وللمراوح fans وهي عموما صالحة للإستخدام مع الهواء والغازات غير القابلة للإشتعال non-inflammable أو تلك غير الخطرة non-aggressive gases.

جدير بالذكر أن الأنواع الإلكترونية electronics من هذه المتممات تقدم دقة عالية high resolution مع معدل العينات high sampling rate مع البساطة والسهولة في أداء الخدمة easy servicing المعنية (overload memory) ويكون سهلا في التركيب easy installation ولا يحدث ضوضاءا ويتناقل البيانات بسهولة free data transmission.

يستخدم هذا النوع دائما في العديد من التطبيقات الفنية مثل دوائر الهواء المضغوط pneumatics والهيدروليكية hydraulics والماكينات الآلية automation machines وفي أدوات الماكينات machine tools وفي الأوعية vehicles وماكينات شحن البلاستيك plastic injection machines وماكينات النجارة wood machines والمصانع الكيميائية chemical plants.

تتباين أنواع المتممات التقليدية علي نطاق واسع وهي جميعها ذات أهمية في دوائر الوقاية عموما ولهذا سنطرح أهم هذه الأنواع شيوعا في السطور التالية من حيث المبدأ والفهم الصحيح لها مما يجعل الموضوع سهلا في الفهم للقارئ حديث العهد بهذا العلم.

أولا: المتمم التأثيري Induction Relay

المتمم التأثيري هو النوع المستخدم لدوائر التيار المتردد فقط لأنه يعتمد علي التأثير الحثي بين المغناطيسية المتولدة في ملف كما بالنسبة للمحولات ولذلك لا يصلح للتيار الثابت وبهذا نري الشكل رقم 3-6 يبين العزم الناشئ من تواجد نوعين من الفيض المغناطيسي ϕ_1 , ϕ_2 وهما المؤثران علي حركة القرص ولهما القيمة القصوى ϕ_{1M} , ϕ_{2M} علي التوالي حيث تم تحويل التعبيرات الرياضية التناسبية إلي معادلات بها ثابت التناسب (K) وهي تلك التي تبين معها العلاقة الرياضية التالية فنجد العزم المؤثر علي القرص هو:

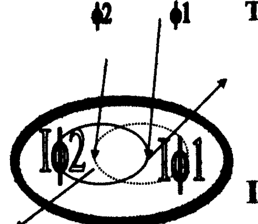
$$T = (K)\, \phi_1\, \phi_2 \sin \alpha \qquad (3\text{–}2)$$

تظهر الزاوية α بين كلا من الفيضين في المعادلة تبعا للذبذبة ω بالمعادلتين:

$$\phi_2 = \phi_{2M} \sin \omega t \qquad (3\text{-}3)$$

$$\phi_1 = \phi_{1M} \sin (\omega t+\alpha) \qquad (3\text{-}4)$$

من ثم تكون التيارات الناتجة عن الفيض هي:



$$I_{\phi 2} = (K)\, d\phi_2/dt = (K)\, \phi_{2M} \cos \omega t \qquad (3\text{-}5)$$

$$I_{\phi 1} = K\, d\phi_1/dt = K\, \phi_{1M} \cos (\omega t+\alpha) \qquad (3\text{-}6)$$

الشكل رقم 3-6: متجهات الفيض والتيار

بذلك تكون القوة المؤثرة F علي القرص المتحرك الحر كما تظهر من هذا التحليل عبارة عن القوتان وهما ما يأخذان الشكل:

$$F_1 = (K)\, \phi_1\, I_{\phi 2} \;\&\; F_2 = (K)\, \phi_2\, I_{\phi 1} \qquad (3\text{-}7)$$

تكون محصلة القوى المؤثرة علي حركة القرص هي:

$$\text{Net force} = K(F_1 - F_2) = K\, \phi_1\, \phi_2 \sin \alpha \qquad (3\text{-}8)$$

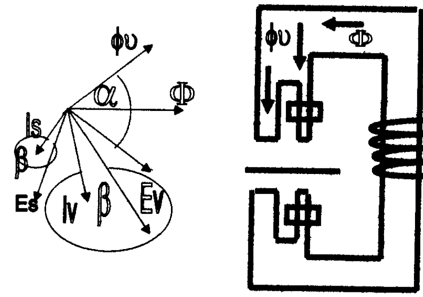
يشمل هذا النوع كلا من:

1- البناء القطبي المظلل shaded pole structure

حيث يعتمد علي المتجهات كما نراها في الشكل 3-7 والتي تتعامل معا لتعطي الحركة الدائرية المطلوبة والتي تؤثر في مشوار الحركة ويكون العزم الناتج هو

$$T = (constant)\ I^2 \sin \alpha = k I^2 \qquad (3\text{-}9)$$

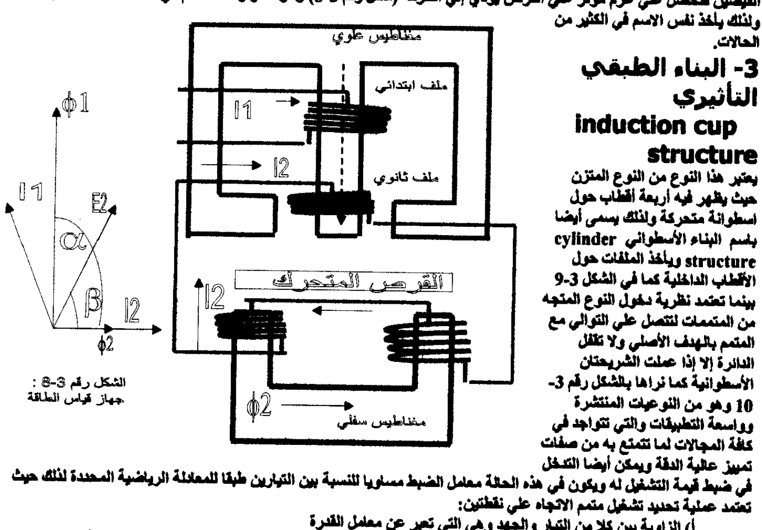
نجد التأثير الشديد لزيادة التيار علي ناتج الحركة المؤثرة علي القرص الدوار في المتمم وبالتالي الحصول علي تأثير فعال لتواجد التيار المراد عزله بسرعة.



الشكل رقم 3-7 : المتمم ذو القطب المظلل

2- مقياس الطاقة watt hour meter

ذلك المقياس هو ما يعرف في مجال القياس الكهربي بالبناء ذو الملفات المزدوجة double winding structure وهو ذات الجهاز المستخدم لقياس الاستهلاك الكهربي في المنازل والمصانع ويعتمد أساسا علي الفرق في الزاوية بين مجالين مؤثرين علي قرص حر الحركة باستخدام قطب منقسم إلي نصفين ويوضع علي أحدهما ملفات تعطي فيضا غير الأصلي وبذلك يظهر فرق في الزاوية بين الفيضين فنحصل علي عزم مؤثر علي القرص يؤدي إلي الحركة (شكل رقم 3-8) وهو الطراز المستخدم في عدادات الطاقة الكهربية ولذلك يأخذ نفس الاسم في الكثير من الحالات.





الشكل رقم 3-8 : جهاز قياس الطاقة

3- البناء الطبقي التأثيري induction cup structure

يعتبر هذا النوع من النوع المتزن حيث يظهر فيه أربعة أقطاب حول اسطوانة متحركة ولذلك يسمى أيضا باسم البناء الأسطواني cylinder structure ويأخذ الملفات حول الأقطاب الداخلية كما في الشكل 3-9 بينما تعتمد نظرية دخول النوع المتجه من المتممات لتتصل علي التوالي مع المتمم بالهدف الأصلي ولا تقفل الدائرة إلا إذا عملت الشريحتان الأسطوانية كما نراها بالشكل رقم 3-10 وهو من النوعيات المنتشرة وواسعة التطبيقات والتي تتواجد في كافة المجالات لما تتمتع به من صفات تمييز عالية الدقة ويمكن أيضا التدخل في ضبط قيمة التشغيل له ويكون في هذه الحالة معامل الضبط مساويا للنسبة بين التيارين طبقا للمعادلة الرياضية المحددة لذلك حيث تعتمد عملية تحديد تشغيل متمم الاتجاه علي نقطتين:

أ) الزاوية بين كلا من التيار والجهد وهي التي تعبر عن معامل القدرة

ب) زاوية قياسية مرجعية reference لتحديد الاتجاه المعاكس سواء للتيار أو القدرة أو غيرهما من القيمة تحت القياس كمرجع لها ويظهر ذلك من خلال المعادلة

العزم= ثابت×الجهد× التيار× جتا الزاوية (زاوية بين الجهد والتيار- الزاوية الداخلية للمتمم) (10-3)

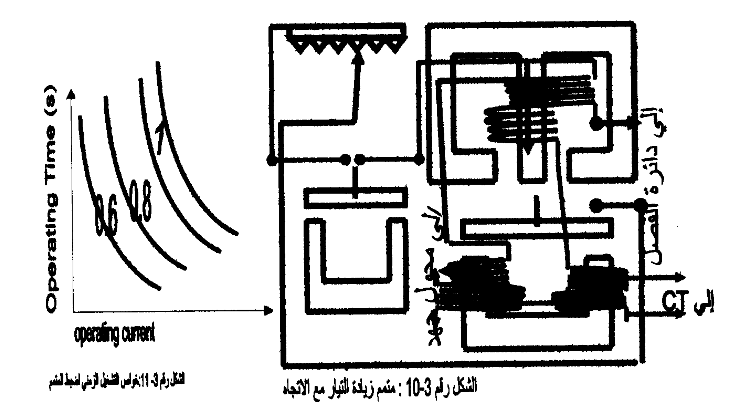
شكل 3-9: منظر عام للمتمم الأسطواني

إن الزاوية الداخلية هي المقابلة لأقصى عزم علي قرص الحركة داخل المتمم، ولذا نجد أن ملفي الحث والموصلين علي محولي الجهد والتيار معبرين عن الناحية المرجعية للاتجاه وتدخل في الدائرة الكهربية تأثيرا علي التوالي ومن ثم لابد من تواجد شرط الاتجاه مع القيمة المنوطة بالفصل، كما يمكن أن يستخدم متمم الاتجاه مع كلا من الزيادة في التيار أو القدرة في وقت واحد أو أيضا مع تيار التسرب إلي الأرض earth leakage مما قد يكون كهربيا مثل التوصيل علي التوالي كي يضمن توافر النوعين من الوقاية في آن واحد عند عمليات الفصل التلقائي.

من الضروري التنويه عن أنه يتم الاعتماد علي محولات تيار بطرق مختلفة التوصيل سواء كان عن طريق وجه واحد single phase أو أثنين بينما محولات الجهد عادة تكون بمصهر علي كلا من ملفيه الابتدائي والثانوي

وجدير بالتنويه عن إمكانية استخدامه مع المتممات الاستاتيكية static الرقمية digital ويدخل أيضا في دوائر الوقاية بأجهزة الحاسب الآلي computerized schemes.

هنا يجب ان نلاحظ أن التصرف الزمني للمتمم يعتمد علي المتغيرات المختلفة ونجد أن الشكل رقم 3-11 يبين التصرف الزمني للمتمم Time performance هذا مع أوضاع الضبط المختلفة والتي تتبع وضع التوصيل علي المتدرج plunger والموضح بالشكل 3-10 وهو ما يعطي الفرصة لظهور معامل الضبط الوضع والمعروف باسم Plug Setting Multiplier والذي يختصر إلي (PSM) ويأخذ الشكل الرياضي:



الشكل رقم 3-11 خواص التشغيل الزمني لضبط المتمم

الشكل رقم 3-10 : متمم زيادة التيار مع الاتجاه

PSM = primary current / primary current setting = primary current / (Relay current setting × CT Ratio) (3-11)

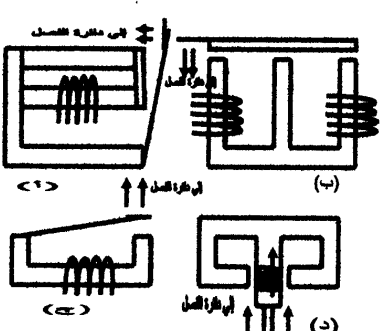
الجدول رقم 3-2 : مقارنة بين المتممات الديناميكية والاستاتيكية المعتمدة علي االثيرنثور

الحالة	متممات ديناميكية	الإعتماد علي الثيرنثور	
		لا تعتمد	تعتمد
استهلاك الفصل (وات)	30	10	100
قدرة مكتسبة (وات)	30	1000	500
زمن فصل(ميكرو ثانية)	10000	20	50
قدرة التشغيل	كبيرة	غير محددة	
درجة الحرارة المناسبة (° م)	- 5 حتي 70	- 20 حتي 100	
التيار المقنن (أ)	5	1	1
قدرة الدخل (ميلي وات)	3000 – 1000	10	20
الاختبار	بسيط	صعب	
تأثير التلوث	يتأثر	لا يتأثر	
تأثير الاهتزازات	تتأثر محاور الحركة	لا تأثير	

بالرغم من أن هذه المتممات قد أدت الواجب طوال الفترات الماضية إلا أنه بظهور المتممات الإستاتيكية الحديثة فقد بات الاعتماد علي تلك الديناميكية عقيما ويبين الجدول رقم 3-2 المزايا التي تتفوق بها المتممات الحديثة علي تلك الديناميكية والتي تعطي الأمل في مزيد من التطور في هذا الميدان مع المستقبل القريب من جهة استحداث الأفضل والأكثر دقة في الأداء. ومن الضروري التنويه إلي أن المتممات الاستاتيكية منها طرازين هما ذلك الذي يعتمد في تكوينه وتشغيله علي خواص الثيرنثور أو بدونه وهو ما يعني الاعتماد علي الترانزيستور ولذلك قد فصل الجدول هذين الطرازين كل علي حدة عند المقارنة وهو ما يؤكد علي تقليل قيمة الاستهلاك عند استخدام المتممات الاستاتيكية.

ثانيا: نوعية الحركة Attraction Type

يأخذ الجزء المتحرك من المتمم أشكالا مختلفة بناء علي بعض الأسس الأولية كما هو مبين في الشكل رقم 3-12 وهي مثل تلك التالية إلي جانب البعض الآخر والمستنتج منهم (إلي أشكالا وأنماطا مستحدثة بصورة دائمة):



الشكل رقم 3-12 : بعض الأشكال لحركة نقاط التوصيل المستخدمة مع المتممات

1- الحديد المتحرك بالقطبية polarized moving iron

حيث يتحرك الذراع الحديدي نتيجة تولد المغناطيسية في القطب الحديدي أمامه من مرور التيار في الملف الكهربي وتكون شدة العزم هي القوة المؤثرة والمحددة لمشوار الحركة كما ظهرت من المعادلات السابقة بالنسبة للقرص الدوار كما نراه في الشكل (أ).

2- الذراع المتزن balanced beam

هو الذراع الأعلى الذي يرتكز علي المنتصف ويتأثر بكل التيارين في الملفين علي جانبي المغناطيس الكهربي أسفله ويجب أن يكون متزنا في الأوضاع السليمة وينجذب إلي الناحية ذات التيار الأكبر في حالة عدم الاتزان كما في الشكل (ب).

3- الحديد المتحرك حول محور hinged moving iron

فيه ينجذب الذراع المتحرك طرفيا نحو الطرف الآخر من المغناطيس الكهربي نتيجة مرور التيار في الملف عليه وهو إما أن يأتي من محول تيار أو جهد حسب الأحوال كما موضح في الشكل (ج).

4- الجزء الممغنط plunger type

يختلف هذا النوع عن السابقين في كون الجزء المتحرك يكون بداخل المغناطيس الكهربي ذاته ويعتمد علي قوة اللقط من المجال الناتج عند مرور التيار في الملف (الشكل د).

5- القرص المتحرك دائريا rotating disc

هو أكثرهم انتشارا وهو نفس النوع الذي سبق في السطور السابقة الحديث عنها وقد ظهرت في كل الأشكال حيث تتأثر بالعزم علي محور الحركة وبالتالي تعطي الفرصة لإيجاد مستويات ضبط للقيم المختلفة من العزم (الشكل 3-6) وقد تم الشرح لهذا النوع مع بعضا من التطبيقات الفعلية في البند السابق.

ثالثا: الصيانة والاختبار Maintenance & Testing

تعتبر أعمال الصيانة من أسس العمل الهندسي في جميع التخصصات وهي ما تمثل الكفاءة الإنتاجية سواء من جهة الإنتاج أو من جهة العاملين علي العمل ولذلك تهتم الدوائر الميدانية في الأعمال الهندسية علي مبدأ الصيانة وما يتلازم معه من أعمال اختبارات خصوصا في دوائر الوقاية بالشبكات الكهربية الموحدة حيث تحتاج هذه النظم إلي الدقة والتدقيق عند الاستخدام أو الاستعانة بها في دوائر الوقاية لحماية الشبكات الكهربية عموما، كما توضع الاختبارات المتنوعة في تقسيم مباشر من منطلق الأداء الهندسي وهي:

1- اختبارات المصنع factory tests

هي التي تتم علي المعدة أثناء وبعد مراحل التصنيع المختلفة وفي النهاية للتأكد من جودة المنتج.

2- اختبارات الاستلام commercial tests

هي الاختبارات التي تتم عند تسليم المتممات ودوائر الوقاية علي وجه العموم

3- اختبارات الصيانة repair tests

تمثل الاختبارات اللازمة للتأكد من سلامة تشغيل المتمم ودائرته بعد إجراء الصيانة وبصفة دورية أو استثنائية لضمان سلامة أداء المتمم عند حدوث القصر.

بالتالي يلزم الالتزام بالصيانة المحددة وإجراء الاختبارات المقررة وفي المواعيد الزمنية تبعا للجداول التخطيطية لهذا العمل خصوصا وأنه من النتائج الإحصائية نجد النسب المتفاوتة في حدوث الأعطال علي أجزاء الشبكة الكهربية كما جدولت في الجدول رقم 3-3.

تعطي الصيانة الفرصة الآمنة لتشغيل منظومة الوقاية ككل وبالمراجعة المستمرة نتأكد من سلامة كل متمم ومكوناته وبالتالي بمحتويات كل دائرة وقاية وأخيرا بالتبعية نضمن أداء صحيح لكل منظومة الوقاية علي الشبكة الكهربية وهذا كله يتحقق من خلال أعمال الصيانة بنوعيها الدوري والجسيم ، أما الاختبارات فهي الحارس العلمي والفني علي سلامة المعدة خصوصا بعد إجراء الصيانة عليها وهي تحتاج إلي بعض الأجهزة الأساسية علي الأقل حتى تمكن من إجراء الاختبارات اللازمة ويوضح الجدول رقم 3-4 بيانا بأهم الأجهزة اللازمة للصيانة.

الجدول رقم 3-3 : نسبة الأعطال في شبكة كهربية لمدة عام واحد

الجزء	أسباب العطل	نسبة أعطال	النسبة المئوية
محطات	عوامل ميكانيكية وانهيار العزل وأعمال الصيانة	12 - 10	11.76-12.66
مولدات	تشغيل خطأ وحالات غير عادية وعيوب في دوائر الوقاية	8 – 6	7.6-7.8
محولات	انهيار العزل وعيوب في مغير الجهد ودوائر الوقاية والتحميل الزائد	12 – 10	12.66-11.76
خطوط هوائية	صواعق وجهود داخلية وعوامل طبيعية (عواصف وطيور وحيوانات)	40 – 30	39.2-38
كابلات أرضية	قطع أثناء العمل وانهيار العزل والوصلات	10 – 8	9.8-10.13
محولات قياس	انهيار العزل والتوصيل الخطأ وزيادة الجهد	20 – 15	19.6-19

يظهر من الجدول أنه لا بد وأن يتواجد منبع تيار كي يتم بثه في الدائرة سواء الدائرة الابتدائية أو تلك الثانوية للتأكد من التشغيل السليم للمتمم عند نفس الظروف إذا ما حدث خطأ ويتم ذلك في معمل موقعي وبصفة دورية للتأكد بانتظام وبصفة دورية من سلامة المنظومة ككل حفاظا علي الأجهزة والمعدات العاملة بالشبكة الكهربية من جهة وكذلك علي العاملين والمتعاملين معها من الناحية الأخري.

رابعا: المتطلبات العامة في المتمم

المتممات بأنواعها المتباينة من ديناميكية أو إستاتيكية يجب أن يتوافر فيها بعض العناصر الهامة مثل:

1- أن يحقق وظيفته في فصل الأعطال التي وضع من اجلها وليس أية أعطال أخرى

2 –أن يكون له مواصفات مناسبة لمواصفات البلد المراد تركيبه فيها

3- أن يكون له المناعة ضد الحالات العابرة (الإنتقالية) مثل الزيادة المفاجأة في التيار والتوافقيات ....)

4 - أن يكون له مخطط كهربائي للتوصيلات الداخلية والخارجية من أجل سهولة إجراء الاختبارات وكشف الأعطال
5- يكون تركيبه مناسب وبسيط
6- أن يتحمل الظروف غير الطبيعية (زيادة الحرارة والرطوبة والتآكل الزمني والظروف الجوية والاهتزازات والصدمات الميكانيكية)
7-الموثوقيه (reliability)

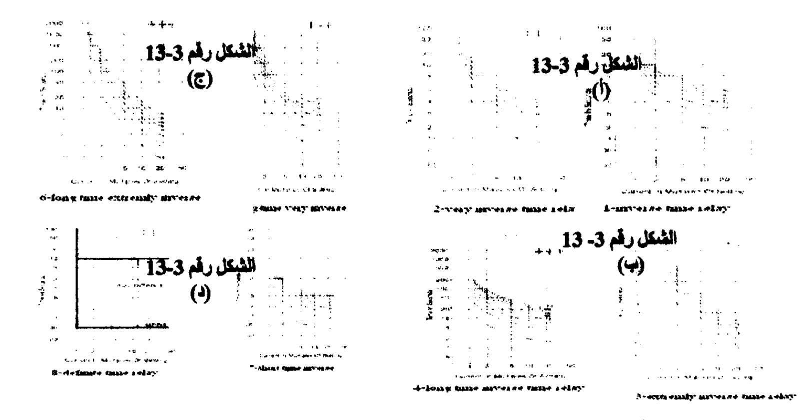
يعتبر ضغط تلامس الملامس أهم هدف في تركيب المتممات حيث أن المرحل يبقى على الأقل % 99.99 من حياته في حالة ثابتة تبعا للإحصائيات الدولية ولذلك نعتبر أن تلف الملامس الخاص بالمتمم حالة من الحالات الخطيرة.

الجدول رقم 3-4: بيان بعدد الأجهزة الأساسية اللازمة لأعمال الاختبارات علي المتممات ودوائر الوقاية

م	بيان الجهاز	عدد
1	جهاز بث التيار (primary current injection) وحيد الوجه 220 فولت بتيارات خروج متعددة (15 أ – 220 ف) / (من صفر حتي 4 ف لتيارات 500 و 19000 و 2000) أو (50 أ – 10 ف)	1
2	محول ذاتي متغير الجهد حتى 120 ف – 5 أ و 18 أ	4
3	جهاز بث تيار(secondary current injection) مفرد الوجه 220ف بخروج متعدد (15 أ–220 ف)/(من 0 - 4 ف لتيارات 25أ – 20 ف و 12.5 أ –40 ف و1.5 أ –150 ف) أو (50 أ–10 ف)	1
4,	مجموعة أجهزة قياس فولت متر وأمبير متر مختلفة القياس	1
5	محولات تيار مساعدة مختلفة المقننات من 1 لغاية 120 أ	1
6	مقاومات غير حثية 110 ف	8
7	مبين لتجاه تيارات النظم الكهربية phase sequence indicator	1
8	مغير الزاوية - 3 طور – 500 وات	1
9	جهاز قياس الزاوية 10 أ – 115/55/15 ف	1
10	مزمن timer من صفر إلي 10 ثانية	1

خامسا: خصائص المتممات الزمنية Timers

تمثل النوعيات المختلفة من المتممات الزمنية تباينا واسعا في الأداء والمهام ونري في الشكل رقم 3-13 بعضا من أهم الخصائص الفنية لهذه النوعيات time multiplier حيث يمكننا التحكم في الزمن المحدد للفصل التلقائي سوا بالقيمة مباشرة أم بتعديلها تبعا لنوع ومكان القصر أو العيب. حيث أن هذه الخصائص حقيقية فيمكن استخدامها في تحليل الأعطال أو في حل الكثير من المسائل المتعلقة بالوقاية والمتممات في الشبكات الكهربية بشكل عام ومن ثم تم عرض ثمانية أنواع منها علي أربعة مجموعات في كل واحدة يأتي نوعين من المتممات الزمنية وكلها توضح بجلاء أهمية هذه المتممات والتعرف علي خصائصها بشكل عميق.
إذا نظرنا إلي هذه المتممات الأولية والتي بدأ بها العمل منذ القدم فنجد لها من المزايا التي تجعلها غير قابلة للإنقراض، علي الرغم من أنها قد تقل تواجدا نسبة إلي تلك الحديثة والأكفأ والأسرع وذلك يرجع إلي إنخفاض سعرها من ناحية وكفاءة أدائها أحيانا من الناحية الأخري. لهذا السبب ورد في الجدول رقم 3-5 بيانا موجزا للمقارنة بين فصائل هذه المتممات نسبة إلي تلك الحديثة والتي تعتمد بالدرجة الأولي علي الدوائر الكهربية وثوابتها مما يؤكد علي أن هذه المتممات دائمة التواجد والعمل في الميدان ولا سبيل إلي التخلص النهائي من تواجدهاحيث تم التقييم بالدرجات بناء علي أساس موحد وهو النظام المعروف بنظام الوحدة (*Per Unit System*). هو أيضا يعادل ذلك النظام الذي يعرف أحيانا باسم النظام المئوي، وذلك يعطي الفرصة للموازنة بين النوعيات عند الحاجة إلي التركيب الجديد أو الإحلال.
نستطيع أن نتعرف بقرب علي المتممات (المرحلات) هذه بأن نضع المواصفات الفنية لأحدهم كما هي موضحة بالجدول رقم 3-6 حيث نجد أن الصفات التقنية للمتمم تحقق الهدف المنشود من المتمم، كما أنه يتحدد غرض معين من المتمم بالرغم من أن المتمم الذي ندرسه هنا يتمتع بالقدرة علي أداء أي من الأعمال الهامة مثل الإنذار والتنبيه Alarm System أو التشغيل التلقائي Automatic device وغيرها من التطبيقات الكهربيةelectrical appliances .
هذا الجدول يقودنا إلي أن المتممات الكهروستاتيكية والكهروديناميكية مازالت قابعة في الميدان لأن خصائصها الفنية الأساسية المبينه هنا تؤكد صلاحيتهم للعمل الجيد وبدقة عالية، إضافة إلي أن التطبيق العملي في كافة أرجاء العالم يؤكد علي هذا فالعمر طويل والكفاءة عالية ومجال الاستخدام واسع من حيث درجة حرارة المحيط والوسط.



الجدول رقم 3-5: مقارنة المتممات الكهرومغناطيسية والاستاتيكية منسوبا بنظام الوحدة

الصفة	الكهرومغناطيسية				الإستاتيكية			
	Attracted armature	Induction disk	Induction cup	Thermal	electronic	transistor	rectifier bridge	Magnetic amplifier
التكاليف	5	7	4	8	1	2	3	6
الدقة	2	3	5	1	8	7	6	4
السرعة	5	2	4	1	8	7	6	3
جودة الخرج	1	4	3	2	7	6	8	5
الحساسية	4	2	3	1	8	7	6	5
الاستقرار	1	4	2	3	6	7	8	5
المتانة	5	4	6	3	1	7	2	8
البساطة	8	6	5	7	2	1	4	3
التجربة	6	8	7	5	2	1	4	3
المجموع	37	40	39	31	43	45	47	42

الجدول رقم 3-6: المواصفات الفنية لأحد المتممات

الصفة	القيمة المقننة	الصفة	القيمة المقننة
استهلاك ملفW	0.45- 0.36	مقاومة تلامس	100 m Ω
جهد ملف VDC	3 - 48	مقاومة عزل	100 M Ω
مقنن تيار أ / جهد ف(24DC / 240AC)	6 / 3 10 / 5	Operate / Release time	10 / 4ms
شدة عزل بين الملف والملمس	1500VAC		
شدة عزل بين الملمسات	750VAC	مدي حرارة	-40/+70°م
عمر كهربي (cycles)	100,000	عمر ميكانيكي	10,000,000

المتممات الساكنة Static Relays

ظهرت في النصف الثاني من القرن الماضي هذه النوعية من المتممات نتيجة للتقدم التكنولوجي في تصنيع الدوائر الإلكترونية وأجزائها، وبعد ذلك انتشرت المرحلات الساكنة علي نطاق واسع في كافة المجالات التطبيقية والتنفيذية بل والدقيقة والخطيرة أيضا. جدير بالذكر أنه قد لحق بعملية وقاية الشبكات الكهربية أو معداتها أو الأجهزة الكهربية عموما العديد من التطور، وهو ما سوف نفتح له هذا الفصل حيث نتطرق إلي المبادئ الأساسية التي تحكم عمل هذه الدوائر والتي تداخلت في بداية الأمر لتعمل جنبا إلي جنب مع المتممات الدينامكية. يزيد من أهمية هذا الموضوع أنها أصبحت بديلا رائعا لها عند اللزوم، ولهذا وقع عبء التطوير والإحلال عليها وأصبحت من النوعيات الجوهرية في أداء دوائر الوقاية أو نظمها علي وجه الإطلاق.

4-1: الخصائص الفنية Technical Specifications

تتمتع هذه النوعية من المتممات relays بما تعكسه من تصرفات علي بقية الأجزاء elements في الدوائر الكهربية circuits بالعديد من الصفات الجوهرية basic characteristics والهامة وهذه الخصائص التي تتميز بها المتممات الساكنة نضعها في نقاط محددة وموجزة علي النحو التالي:

أولا: مميزات المتممات الإستاتيكية (الساكنة) Advantages

من أهم الصفات المميزة لهذه النوعية من المتممات ما يمكن أن نحدده بصورة سريعة في ما يلي:

1- السرعة الفائقة في الأداء high speed

نظرا للتحول من النظام الميكانيكي إلي الكهربي أي من الميكانيزم إلي الدوائر الإلكترونية، حيث يصبح الثابت الزمني Time Constant للدائرة الكهربية هو الأساس بدلا من الثابت الزمني Time Constant للحركة الميكانيكية. هذا المبدأ هو المؤدي إلي خفض الثابت الزمني بشكل ملحوظ وهو الذي عادة ما يكون كبيرا جدا بالنسبة لمثيله في الدوائر الكهربية أو الإلكترونية مما ساعد علي ظهور المرحلات الساكنة في مجال الوقاية الآلية. لذلك يسمح المتمم الإستاتيكي بالزمن التنفيذي الصغير أو متناهي الصغر تبعا للقيم الفعلية لمكونات الدائرة الكهربية المحددة للزمن.

2- الحساسية الشديدة high sensitivity

تظهر الحساسية للقيمة المنوط بها تحديدا في أعمال الوقاية بل ومع إمكانية تكبير قيمتها إلي الحدود التي نستطيع معها العمل بيسر وسهولة وتحديد القيمة بدقة بالغة. إن ذلك يرجع إلي الإعتماد علي الدوائر الكهربية التي تعمل بمكونات كهربية بدلا من تلك الكهروديناميكية والتي كانت تتعرض بدون شك إلي العوامل الخارجية المؤثرة في أدائها. هذا أنه بالميكانيزم الميكانيكي المتواجد قد نتحول عن الدقة المطلوبة في الأداء من جهة بجانب القيمة ذاتها ومدي تباينها عن المرجع كقيمة من جهة أخري.

3- لا تحتاج إلي أي من أعمال الصيانة no maintenance

جدير بالذكر أن الدوائر الكهربية أو الدوائر الإلكترونية تحديدا لا تواجه أعطالا بالمقارنة مع تلك النظم الميكانيكية أو نصف آلية العمل، ومن ثم نجد أن هذه الدوائر ذات صفة جوهرية وهي عدم الحاجة إلي إجراء الصيانة الدورية المطبقة مع النظم الميكانيكية آلية كانت أم نصف آلية.

4- لا تتأثر بالاهتزازات أو الصدمات shocks and vibrations

نظرا لأن الدوائر الإلكترونية أو تلك المعروفة بإسم الدوائر المتكاملة لا تتأثر عموما بالإهتزازات أو الصدمات مما ينعكس علي القدرة علي مجابهة الظروف الشاقة في العمل أو في مواجهة أماكن العمل ذات الطبيعة المجهدة والمسببة للهزات مثل أماكن الإنفجارات أو التنقيب وغيره.

5- الحجم الصغير size reduction

من أهم المزايا التي تحدث عند التعامل مع هذا النوع يأتي ذلك الحجم الصغير للكروت الإلكترونية المستعان بها مقارنة بتلك المتممات الميكانيكية كاملة أو نصف ميكانيكية، ولهذا تتفوق المتممات الساكنة عن تلك الديناميكية بشكل عام.

6- مستوي وخواص أداء عالي المستوى high performance

نتيجة للتعامل مع مكونات الدوائر الإلكترونية نجد أنه من السهل تحديد خصائص العمل والأداء بمنتهي الدقة والتي تتفوق علي غيرها من الناحية النظرية والعملية علي حد سواء.

7- تحسين معدل الأداء improving

يكون هذا التحسين بالمقارنة مع مثيله من المتممات الديناميكية ذلك أن المتممات الديناميكية تعتمد علي منظومات حركة ميكانيكية مما يستهلك الوقت بجانب إنخفاض مستوي الدقة بينما علي النقيض نجد أن الدوائر الإلكترونية ثم بعد ذلك الرقمية قد فاقت كل حساب من ناحية معدل الأداء السليم وتحديد الأعطال بشكل مبسط وسريع مما يقلل من الوقت المستهلك الذي كان يستغرقه العمل بالنظام القديم.

8- سهولة الاستبدال أو الإحلال replacement

بالإمكان إحلال أو أستبدال المتممات الإستاتيكية محل الديناميكية قديمة الطراز دون أدني تقصير في العمل بل أنها دائما تتفوق عليها.

ثانيا: عيوب المتممات الإستاتيكية Disadvantages

تنحصر العيوب في هذا النوع من المتممات في نقطتين أساسيتين هما:

1- لا تعمل بأطراف توصيل متعددة multi terminals connector

حيث أن يصعب التعامل مع الأطراف المتعددة ولذلك نجد أنها تحتاج للطراز الديناميكي في ذلك، ومع ذلك نتوقع التطور السريع في هذا الصدد مم يزيد من فعالية هذا النطاق الإلكتروني في أعمال الوقاية الكهربية الآلية وكذلك في مجال التحكم الآلي.

2- التداخل Interference

يحدث التداخل في بعض الأحيان مع او بين خواص أداء المتممات الديناميكية مما يدعو إلي الدراسة المستفيضة الهامة عند الإحلال والتجديد للأنواع الديناميكية من المتممات بأخري من النوع الإستاتيكي.

ثالثا: متطلبات المتممات الإستاتيكية Requirements

تتطلب هذه المتممات بعض من الدقة أكثر عن تلك الديناميكية وهي تقع في:

1- ضرورة إجراء تجارب test علي جودة المنتج quality control بشكل جوهري

2- التأكد المستمر check بعد كل خطوة تصنيع طوال مشوار التصنيع

3- مطلوب الحساسية التامة والكاملة للدوائر عالية السرعة high speed circuits بالقيم الفائقة أثناء حدوث الخطأ مثل الحالات الانتقالية transients

4- يلزم تجهيز منبع قدرة تيار مستمر D C supply باعتمادية مرتفعة reliability

رابعا: محاور تصميم المتممات الإستاتيكية Design

تضيق مجالات تصميم المتممات الساكنة في محورين هما:

1- متممات منفصلة separately وحيدة الغرض single purpose

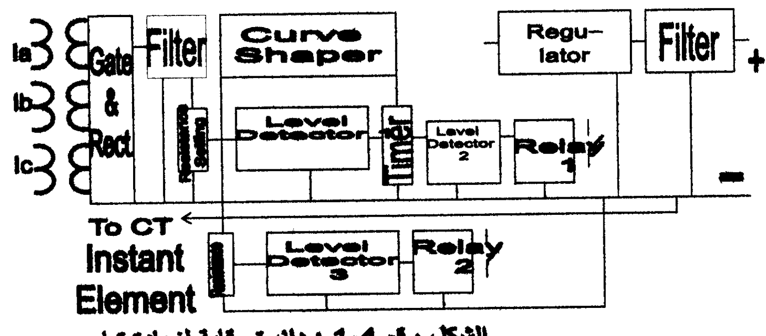
هذه المتممات هي التي قد تحل مكان تلك الديناميكية أو التي قد تدخل بجوارها ليعملا سويا في وقاية معدة ما أو لاستكمال دوائر الوقاية لتصبح متكاملة الأداء مثل متممات التسرب الأرضي earth leakage أو زيادة التيار over current وغيرهما.

2- متممات متعددة الأداء multifunction

هذه المتممات هي التي تدخل في دوائر متعددة الغرض أيضا، وعادة ما تكون العمليات هذه متصلة الرباط related functions معا من خلال الدوائر الكهربية المتكاملة. كما يدخل مع هذه النوعية أيضا الدوائر المنطقية logic circuits والتي تعمل مع الحاسب الآلي microcomputer أو بدونه، وتعطي عادة مخرج وحيد common output لكل الحالات. من الناحية الثانية نجد أنه في هذه الحالة يجب أن تشمل المنظومة كلا من وسائل الإشارة signal سواء للتوضيح أوالبيان indication أو من أجل الإنذار alarm وكذلك وسائل الأمر بالفصل. كما يسمح هذا التصميم بنطاق واسع من التعامل والتوصيل لأغراض مختلفة إلا أنه معقد complex في التصنيع أكثر من النوعية السابقة. كما يتفرع هذا النوع من المتممات في فرعين أساسيين نضعهما في البندين التاليين من هذا الفصل.

2-4: أسلوب التشبيه Analogue Technique

تعمل الدوائر الإلكترونية electronic circuits بنظام استقبال receiving كمية كهربية ما وتعرف باسم القيمة الداخلة input وتشكلها بعد المعالجة الإلكترونية treatment إلي قيمة جديدة وتصبح هي الخارج منها وتعرف باسم القيمة الخارجة output كما هو موضح بالشكل رقم 4-1.



الشكل رقم 4-1 : دائرة وقاية لزيادة تيار

تتمثل الكميات الداخلة في التيار او الجهد أو الزاوية phase angle بين الجهد والتيار أو بين أي من المتجهات الثنائية أو القدرة أيضا أما الكميات الخارجة فتوضع عند المعالجة مع مبدأ المقارنة comparison base بمرجع أساسي reference بدلا من قاعدة الضبط السابقة setting في المتممات الديناميكية وهي في المعالجة تدخل في دائرة البحث والكشف detection عن كميات محددة definite وتعتمد هذه الأعمال الكهربية علي نظام البساطة في بعض الأحيان وعلي النظام المركب combined system في أحيان أخري ولمزيد من الإيضاح نضعه في ثلاث محاور هي:

أولا: المحور الزمني Time

في هذا المحور نتعرض إلي نقاط مبدئية نحتاج إليها في نطاق التعامل الزمني بهذا الأسلوب وكل الأجزاء في هذا الأداء متتالية الضرورة وهي:

1- مغير نوعية التيار Converter

المغير هذا هو ذلك الذي يعرف بتحويل التيار المتردد إلي الثابت AC/DC converter أو العكس حيث أنه يعمل كموحد rectifier بالإضافة إلي التحويل العكسي الذي لا يستطيع عمله الموحد وهو ما يجب أن نبدأ به من القياس بغرض الوقاية حيث نحصل علي القيمة المترددة من الشبكة سواء كان تيارا أو جهدا من خلال محولات القياس وذلك باستخدام قناطر التوحيد rectifier bridges فتتحول إلي كميات علي النوعية الثابتة DC غير المترددة ثم يتم مقارنتها مع مستوي محدد مسبق القيمة predefined level وهو ما يعرف بالضبط setting ثم ندخل علي التوقيت الزمني اللازم في ذلك ولذلك نحتاج إلي هذا المغير لنوعية التيار في بداية كل دائرة كهربية at input تعمل من أجل الوقاية وهو ما نراه في بداية الدائرة الواردة في الشكل رقم 4-1.

(أ) دائرة تعتمد لكبر تيار لحظي (ب) دائرة تعتمد أعلي جهد لحظي

الشكل رقم 4-2: دائرة الباب الكهربي Gates

كذلك يمكن الاعتماد علي تحويل الكمية علي كل طور لتتجمع سويا مزيدا القيمة عند المقارنة باستخدام نظام البوابة الكهربية gate (الشكل رقم 4-2)، وفي البوابة الكهربية نحصل علي القيمة الخارجة output ثلاث أمثال تلك الحقيقية تقريبا مما يتيح لنا وضعها ككمية داخلة للدائرة الإلكترونية المخصصة لعمل الوقاية الكهربية وتصبح هي الكمية الداخلة input ، كما نري من الشكل رقم 4-2 أن هذه البوابة توضع بنوعين حيث تكون إما لأكبر قيمة تيار highest current كما في الشكل رقم 4-2 (أ) أو لأكبر قيمة جهد highest voltage كما في الشكل رقم 4-2 (ب) ويظهر الفارق أنه في حالة التيار يقاس الجهد الخارج علي أطراف المقاومة output resistance بينما توضع هذه المقاومة علي دخول كل قنطرة لكل طور في الثاني ونحصل فيه علي الخروج وهو الجهد بين طرفي توصيل القناطر الثلاث output terminals.

(أ) الدائرة الكهربائية (ب) إشارة الدخول والخروج

الشكل رقم 4-3 : دائرة المكبر للإشارات الشغلة

الشكل رقم 4-4 : دائرة كاشف علي أساس المستوى

2- التوقيت الزمني Timers

هنا نعرف نوعين هما إما محدد الزمن definite أو متغير الزمن varied time of tripping وهذا المتغير له نوعان وقد سبق الإشارة إلي ذلك ونضيف هنا الزمن الفوري instantaneous وهو المتاح نتيجة الثابت الزمني الصفري عمليا في الدوائر الإلكترونية حيث لا يضاف أي زمن للعمل مع الدائرة، وهو ما نستطيع التعرف عليه من الدائرة السابقة في الشكل رقم

4-1 وفيه يقوم الكاشف رقم 3 - detector 3 - بهذا العمل الفوري بينما يقع عبء التوقيت الزمني علي الكاشف رقم 2 ومن ثم يتم شحن مكثف capacitor ليصل إلي التوقيت اللازم عند الشحن الكامل فيتم التفريغ discharge وهكذا تصل الإشارة إلي المخرج لتعطي الأمر بالفصل التلقائي.

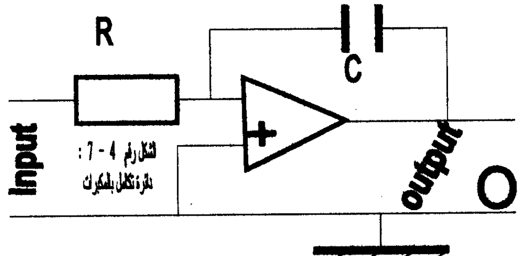
ثانيا: محور البحث Detection

يعتمد الكشف عن القيمة ووقت حدوث الخطأ fault أو العيب في الشبكة الكهربية في هذا النظام كما يتوقف ذلك علي كاشف أو باحث detector والذي يمثل الدقة في تحديد الضبط setting المطلوب، وهذه الصفة الأساسية للتعامل مع الدوائر الإلكترونية من أجل تقليل معامل الخطورة الإحصائي statistic risk factor ويقلل من الفصل الخاطئ false operation وهو ما يمكن أن يتحقق من خلال ثلاث طرق كشف (بحث) مهمة هي:

الشكل رقم 4-5 : نقطة عمل الكاشف

1- كاشف المستوى Level detector

يعتمد هذا الكاشف علي المكبرات المنطقية amplifiers والتي نراها في الشكل 4-3 حيث يعمل بنظام التحويل بين الكميات الداخلة والخارجة من خلال العلاقة input output characteristic فيعطي القيمة للجهد الخارج مباشرة فقط إذا ما وصلت إلي القيمة المرجعية والمحددة علي الشكل عندما تخرج القيمة التي تدخل عن حدود العلاقة التحويلية وتدخل منطقة التشبع saturation.



الشكل رقم 4-6 : دائرة باحث بأسلوب القطبية

كما تتميز المكبرات المثالية ideal amplifiers من هذه النوعية بخمس صفات جيدة هي:

(أ) الخروج الجيد لانهائيا infinite voltage gain

(ب) المعوقة الداخلية للدخول اللانهائية infinite input impedance

(ج) المعوقة الصفرية عند الخروج zero output impedance

(د) يمكن استخدام هذه الدائرة بدون بردن حملي

(هـ) نستطيع إدخالها في عدد من دوائر الوقاية الرئيسية.

كلها صفات تتمتع بها الدوائر المنطقية فيزيد من كفاءة أدائها لهذا العمل ويميزها استهلاكها القليل للطاقة.

إضافة إلي ذلك يقوم الكاشف بالمقارنة comparison مع قيمة محددة مسبقا (الشكل رقم 4-4) قد تم الضبط عليها من قبل فلا يعطي قيمة خروج إلا إذا وصلت القيمة الداخلة إلي تلك المقننة كمرجع في الدائرة الكهربية لهذا الكاشف حيث تصل القيمة المرجعية reference مثل المفتاح الكهربي switch فيفصل الدائرة وتصبح بلا خروج أو يغلقها وتخرج الموجة مباشرة إذا ما وصلت إلي هذا الحد ويبين هذه العلاقة البيانية الشكل الوارد رقم 4-5 حيث تظهر النقطة المرجعية عند تقاطع القيمة الداخلة للمكبر مع القيمة المرجعية المحددة.

2- كاشف القطبية polarity detector

الشكل رقم 4 - 7 : دائرة تكامل بالمكبرات

يتعامل هذا النوع بناء علي الشكل الموجي الخارج من المكبر كما يقدمه الشكل رقم 4-6 واضح بالموجات الداخلة والخارجة.

من الشكل 4-6 نجد أن الموجة المترددة sinusoidal wave الداخلة تتحول إلي موجة مربعة square عند الخروج أو مستطيلة أحيانا وتختفي في هذه الحالة عمليات التشوه distortion في شكل الموجة وتختفي مخاطرها علي الدقة وذلك نتيجة الخروج الذي يعتمد علي إما الحالة موجودة فتظهر القيمة أو لا توجد الحالة المطلوبة فيكون الناتج صفرا وهنا يكون المرور الصفري معروفا بدقة تامة ولا يتأثر بنوعية أو شكل موجة الدخول خصوصا وأن شكل الموجة لا يكون جيبيا وقت القياس في الحالات الانتقالية أو أثناء القصر.

3- الكاشف التكاملي integrator

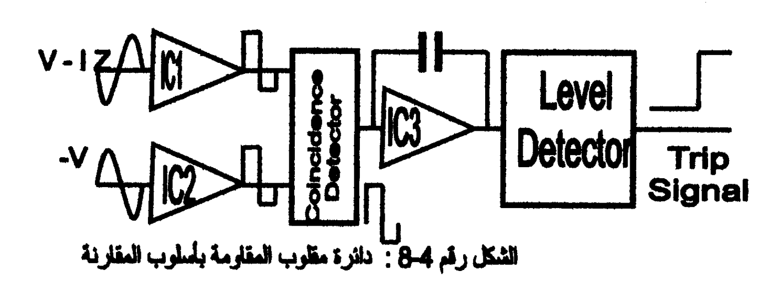
يظهر هذا الطراز من الدوائر المنطقية وهو واسع الانتشار ويعتمد علي التغذية الخلفية في دائرة المكثف والذي يتأثر بدوره بقيمة المعوقة الداخلية وهي التي تساوي النسبة بين الجهد الداخل والمقاومة الداخلة أيضا والتي يمر بها تيار الدخول وتعطي جهدا علي المكثف بقيمة :

$$V_c = 1/C \int I\,dt = (1/RC) \int E_{in}\,dt = -V_{out} \qquad (4\text{-}1)$$

تشير هذه المعادلة إلي أن جهد الخروج يتناسب مع تكامل integral جهد الدخول وبهذا تصلح الدائرة للاستخدام الزمني timer service كما وجدناها في الشكل رقم 4-1 من قبل والممثلة بمشكل المنحني الزمني curve shaper .

ثالثا: محور نوعية التطبيقات Applications

يدخل التطبيق الفعلي للدوائر المنطقية في دوائر الوقاية عموما بشكل مكثف حتى وصل إلي الشيوع وكثرة إحلاله محل القديم أو المتهالك من القديم وتعطي الدائرة في الشكل رقم 4-8 شكلا من هذه التطبيقات حيث تتم المقارنة بين الموجتين الداخلتين (كقيمتين) ويكون الناتج للمقارنة هو الخروج منها وهو ما نراه مطبقا بالفعل في وقاية المسافة للخطوط الكهربية عند العمل علي مبدأ قياس مقلوب المقاومة Mho resistance وتشير إلي المحل الهندسي للتغير في هذه القيمة.



الشكل رقم 4-8 : دائرة مقلوب المقاومة بأسلوب المقارنة

يعمل في الدائرة كلا من الكاشفين IC1 & IC2 بأقصى قيمة كسب عند الخروج وبدون التغذية الخلفية No Feed Back بينما يتبع الكاشف الأخير detector أسلوب المستوي level كما تحدد عليه بالرسم، ويظهر أيضا دائرة التكامل الكهربية integrator قبل المرور علي الكاشف الأخير للتعامل مع الإشارات التي تأخذ شكل المربع وتحويلها إلي إشارات فاعلة خارجة بعد المرور علي كاشف المستوي.

الشكل رقم 4- 9 : دائرة تأخير زمني

مثال 4-1:

تستخدم الدائرة الكهربية الواردة في الشكل 4- 9 من أجل ضبط زمن الفصل للمتمم وذلك لتأخير زمن الفصل. افرض أن السعة C [redacted]4- 9 تساوي 10 μF والمقاومة $100\ k\Omega < R < 1\ M\Omega$. إذا كان الجهد هو $V_{pu} = 1\ V$ وأن $v_i = 2\,u(t)$ أوجد زمن التأخير بهذه الدائرة في الحالتين:

أ) $R = 100\ k\Omega$

ب) $R = 1\ M\Omega$

الحل:

أ) حيث أن الثابت الزمني τ هو

$$\tau = RC$$

نحصل علي الجهد v_0 في الصورة:

$$v_0 = 2[1 - e^{-t/1}]_{t=T} = 1$$
$$1 - e^{-T} = 0.5$$
$$e^{T} = 2$$
$$T = \ln 2 = 0.693 \text{ s}$$

ب) أيضا الثابت الزمني يصبح

$$\tau = RC = 10 \text{ s}$$

$$v_0 = 2[1 - e^{-t/10}]_{t=T} = 1$$
$$e^{T/10} = 2$$
$$T/10 = \ln 2 = 6.93 \text{ s}$$

3-4: الأسلوب الرقمي Digital Technique

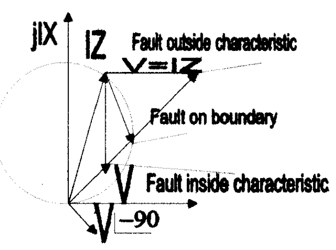
تتطور النظم الرقمية digital systems وتشغيلها بسرعة فائقة high processing في العقود الأخيرة وذلك نتيجة التكنولوجيات المبتكرة والمتقدمة في مجال الدوائر الإلكترونية ومكوناتها مثل البوابات المنطقية logic gates والمشغلات الدقيقة microprocessor والحاسب الإلكتروني computers ودوائر الوقاية ذاتها relaying circuits، ولكنه من حيث المبدأ تقوم الدوائر الرقمية علي أساس تحويل القيمة الداخلة analogue value تحت غرض الوقاية ضد خطأ ما إلي إشارة رقمية digital signal ويتم تشغيل تلك الأخيرة علي أحد المحورين:

الأول: محور المقاطع المنطقية discrete logic

هذه النوعية تتميز بالقدرة علي التعامل مع عدد من الإجراءات غير المركبة والمتداخلة التي تتم في وقت واحد علي التوازي parallel

الثاني: محور المشغلات الدقيقة microprocessor

هي تلك المشغلات التي تستطيع التعامل مع المواضيع المعقدة complex والمتداخلة function interference وبشكل أفضل من غيرها علي وجه الإطلاق ولكنها في الحقيقة قد تعجز عن العمل علي التوازي في بعض الأحيان مما يعطي الفرصة للعمل علي المحور السابق في تلك الحالات، وهكذا سيكون من الأفضل بكثير عندما يؤخذ بالمحورين في آن واحد خصوصا مع الدوائر والعمليات المتداخلة تماما بحيث يعتمد التعامل مع الكميات المتوازية داخل نطاق كل مرحلة علي محور المقاطع المنطقية بينما تؤخذ النتائج جميعا للتحليل وإعطاء الوضع النهائي بمحور المشغلات الدقيقة.



الشكل رقم 4-10 : متجهات المقارنة لقياس mho

لهذا السبب نجد أن الإستراتيجية الهندسية للأسلوب الرقمي والذي يعطي التكامل والإمكانية للحصول علي نتائج دقيقة والخالي من عيوب العمل الزائف ستكون الأفضل حيث يتشكل الأداء من مجموعة متتالية من العمليات المنطقية التي تتأكد معا وتعطي القرار النهائي الصحيح، جدير بالذكر أنه بهذا الأسلوب تقل مظاهر التشغيل الزائف ويكون دائما هناك تأكيدا ذاتيا وبصفة دائمة قبل إصدار أمر الفصل التلقائي والنهائي.

أولا: مبدأ المقارنة Comparison

عادة لا يجتمع كلا من السرعة quickness والأمان security في شيء واحد وفي نفس الوقت ونحن هنا بصدد تحقيق الميزتان معا حيث نحصل علي أسلوب مقارنة Comparison سريع ودقته عالية بعد التأكد من ذلك حيث يعمل الخروج output signal بناءا علي مبدأ التأكد verification من كل أمر صادر إليه حتى يتحقق صحته من مكان آخر فإذا كانت الإشارة الثانية مؤكدة للسابقة فتعطي أمرا بالفصل التلقائي أما إذا كان التأكد سلبيا نتيجة لتواجد موجات توافقية harmonic waves أو تشويه وتوهين distortion مع الموجات المسافرة traveling waves عبر مكونات الدائرة وما ينتج عنها من شوشرة noise فيتوقف أمر الفصل وبهذا يكون الأمان متوفرا بجانب السرعة وهي من أهم العوامل التي يتميز بها هذا النوع من الدوائر في التطبيقات مع هذا المجال.

في هذا الصدد يستخدم أسلوب مقارنة الزاوية phase angle comparison بين المتجهات بناءا علي نظام ترتيب الأطوار phase sequence concept بمساعدة الدوائر المتكاملة bipolar IC، فمثلا يجب الاستعانة بمرشح مرور منخفض من الدرجة الثانية second order low pass filter للتخلص من الموجات المسافرة بذبذبة قطع cut off قد تصل إلي 500 ذبذبة / ثانية.
تكون الكميات الداخلة هي الكميتين الأولي A والثانية B كما في الشكل رقم 4-10 ويتبعان الصيغة الرياضية:

$$A = V - IZ \qquad (4\text{-}2)$$

$$B = V \angle -90^{\circ} \qquad (4\text{-}3)$$

بذلك تقع حدود التشغيل في المنطقة

$$90^{\circ} > \operatorname{Arg}(B/A) > 0 \qquad (4\text{-}4)$$

ذلك هو ما سوف نقوم بالشرح عليه في البنود التالية.

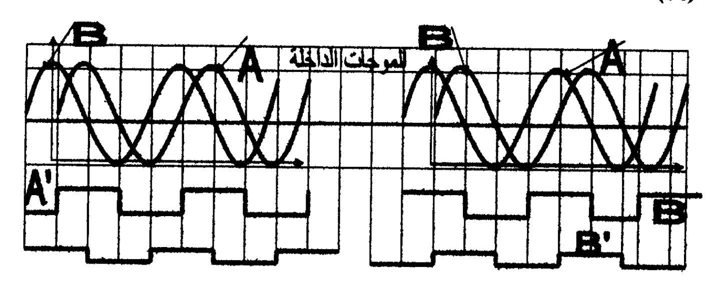
1- الكمية الخارجة output signal

للمقارنة بالنسبة للزاوية angle بين متجهين نأخذ المتجه A ومعه المتجه B لنقارن بين تغير الزاوية بينهما وحالة الوضع والترتيب المنطقي logic sequence للحالة المعتادة normal والأخرى المخالفة لها (الشكل رقم 4-11)، ففي حالة فرق الزاوية 90 فنعطي الموجة الأولى الرمز A بينما الثانية تأخذ الرمز B كما هو موضح في الشكل ونري الموجة المترددة وما يقابلها أيضا من موجات على شكل المستطيل والترتيب المنطقي للموجات في الحالة في (أ)، وهي الحالة التي تعبر عن التشغيل الصحيح والوضع السليم للزاوية بين الكميتين A و B، هو:

$$A.B \quad A'.B \quad A'.B' \quad A.B' \quad A.B \qquad (4\text{-}5)$$

أما في الحالة (ب)، وهي الحالة التي تمثل اختلافا في الزاوية للكميتين عن لتشغيل الصحيح مما يعني أن الزاوية بين الكميتين A و B قد أصبحت في الاتجاه الخطأ ، فنجدها

$$A.B \quad A.B' \quad A'.B' \quad A'.B \quad A.B \qquad (4\text{-}6)$$



(أ) حالة التشغيل العادي restrain condition (ب) حالة الفصل operation condition

الشكل رقم 4-11 : ترتيب المتغيرات المنطقية بالنسبة للحاسب الآلي

حيث في (أ) نجد أن الموجة الأولي تسبق الثانية بينما ينعكس الوضع في الحالة الثانية وبناء علي ذلك نجد في الحالة الأولي عندما تتغير A ينعكس القطبية لها عن الموجة المتأخرة بينما مع تغير B تحتفظ بالقطبية مثل A عند تقدم B تنعكس الأوضاع السابقة. يقدم الشكل رقم 4-11 تفسيرا واضحا لهذه الشروط المنطقيةlogic conditions والتي تحدد مدى الدقة في الحصول علي الكمية الخارجة output لاتخاذ القرار الصحيح بالفصل trip حيث يقوم المقارن comparator بفحص هذه الإشارات الداخلة عند كل تغير قطبي polarity، أي تغير عند المرور الصفري zero crossing، ليتحقق من أيهما تغير حقيقي أو زائف false ولكي يتأكد من الترتيب عما إذا كان يمثل حلة تشغيل معتادة restraining أم أنها حالة تستدعي الفصل.
من المهم الإشارة إلي أن تغير حالة الإشارة لا يعتمد علي فقط علي القطبية (المرور الصفري) فيتحدد لها وضع للفصل بل أنه قد يأتي هذا التغير من تواجد أي من الموجات التوافقية harmonics أو الشوشرة noise أو تلك الإشارات المزيفة spurious والتي قد

تحدث مضايقة علي الإشارة الأصلية fundamental من الشبكة الكهربية ولهذا فالعمل الآمن يتحدد له نطاق criterion كي يتم الفصل من خلال استقبال عدد من المتغيرات المتتالية والتي يجب ان تشير كلها إلي الاحتياج للفصل trip ويقوم المقارن بتحديد عدد هذه المتغيرات وكل تغير منها يضاف إلي أن يصل إلي الحد الأدنى لتشغيل الفصل (4 تغيرات يمثلون تغير الموجة خلال دورة كاملة complete cycle) بينما في حالة وضع الزوايا الصحيح يقوم كل تغير بالطرح من العد ليصل إلي الصفر في نهاية الحدود (الدورة الكاملة).

تزداد عملية الفصل الصحيحة أهمية إذا ما كانت الشوشرة أو الإشارات الخاطئة والمزيفة أو حتى تلك التي قد تأتي بأكثر من عبور خلال الصفر مما تساعد علي تغير حالة الترتيب المنطقي للموجات وتظهر ترتيبا منطقيا في حالة غير صحيحة، ففي الشكل رقم 4-12 نري مثل هذه الحالات التي يضاف فيها عدادا counter (للتغلب علي الفصل المزيف) ليقوم بالتغيير كل زوجين من التغير مرة واحدة فنبتعد عن الأخطاء ،وهكذا نبتعد عن خطأ في حساب حالات التغير نتيجة الشوشرة من خلال العداد.

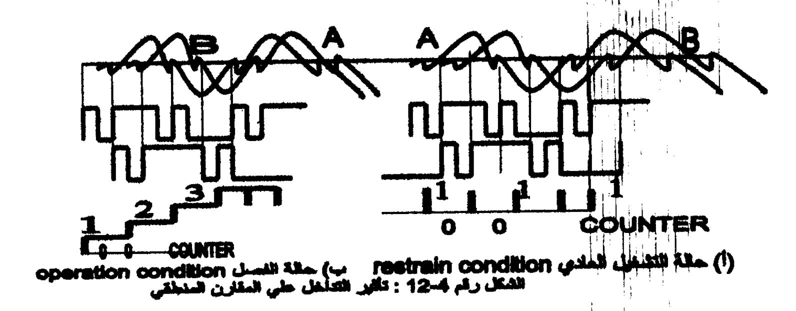
2- عملية الفصل tripping

لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل نحتاج إلي المزيد من الدقة لتحديد حالة الخطأ بالضبط حيث تظهر بعض الحالات الحرجة عندما تقترب الإشارات الداخلة من حدود التشغيل لأجهزة الوقاية thresholding أو عندما تحتوي الإشارة أو كليهما علي الشوشرة بقيمة كبيرة فتزيد معها مرات العبور الصفري في زوايا بعيدة عن الصفر الحقيقي، ولذلك نحتاج إلي سلسلة من العمليات المتتالية للتغلب علي كل احتمال للتشغيل الخاطئ نتيجة الشوشرة ونضع هذه الخطوات وهي:

1- يجب بعد العد الأول أن يستمر زمن عمل العداد لمدة 6 ميلي ثانية علي الأقل من أجل الإحساس بتغير القطبية الفعلي actual polarity قبل إعطاء الأمر بالفصل

2- عندما يقوم العداد بالعد الثاني مع عدم تغير الحالة في الحالة العادية down count تكون إشارة الخروج من المقارن comparator متوافقة مع الشرط الكافي condition لضمان العمل الصحيح بحيث تعطي حدودا لأمر الفصل limit criterion for tripping باستمرار الزمن من جديد مع كل عد count جديد تبعا للتداخل مع الإشارات الداخلة input signals وعلي ألا يكون به شوشرة noise.

3- لا يستطيع العداد العد تبعا لتغير الحالة في ترتيب الفصل an up count وذلك حتى يمر زمن 4 ميلي ثانية علي الأقل من آخر عد last up count، وعند كل مرة يحصل فيها العداد تقل المدة المطلوبة عن السابقة والمسجلة زمنيا مع ضرورة إنهاء المدة التي بدأت في الحسبان من قبل، وهذا يقلل من الخطأ الذي قد ينشأ مع تواجد الموجات عالية التردد HF ويمنع المتمم داخل مجال التأثير من حالة over reach نتيجة تواجد التغير الأسي من الموجات الداخلة (الشكل 4-13). في هذه الحالة نتعامل مع الحالة المنطقية التالية:



(أ) حالة التشغيل العادي restrain condition ب) حالة الفصل operation condition

الشكل رقم 4-12 : تأثير التداخل علي المقارن المنطقي

A.B A'.B A'.B' A.B' A.B A.B' A'.B' A.B' A.B A'.B' A.B' A.B (4-7)

هذه شروط منطقية تعطي العد التالي للعداد بين قيمتين أعلىUP (U) وأسفل DOWN (D):

D D D D U U D D D D D (4-8)

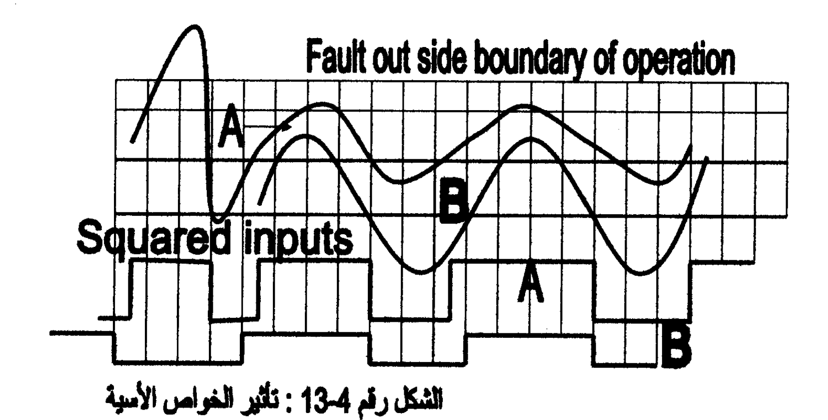
تشير إلي أن الحالة U U لا تعطي أمر الفصل الحقيقي لأن المسافة الزمنية السابقة أقل من 4 ميلي ث وهو ما يؤكد قدرة التغلب علي التأثيرات الناتجة عن الحالات الانتقالية transients.

4- يلزم عمل كبح (فرملة) blocking input إذا كان العداد قد رصد عددا أقل من أربعة مرات (حد التغيير) ويستخدم ذلك بنجاح بالغ إذا كان هناك اختلافا بين المعلومات التي رصدت من المصادر المختلفة، فمثلا من جهاز الاتجاه directional element وكذلك من تواجد القيم اللحظية الفجائية الناتجة خصوصا عن دخول محولات الجهد السعوية في الدوائر الكهربية، وهو ما يعني القضاء علي تأثير الشوشرة noise.

5- إذا خرج المقارن بإشارة للفصل tripping output لا يجوز عودته إلي الوضع الأصلي reset إلا إذا كان العداد صفرا تأكيدا علي عدم الفصل الخطأ.

6- يجب أن يكون أقل زمن تشغيل هو 6 ميلي ث ويتواجد متمم تكامليintegral tripping relay مناسب للفصل حتى نحصل علي أقل زمن عمل operating time خصوصا بالنسبة لوقاية المسافة distance protection علي الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية حيث يزاد الزمن إلي 7 ميلي ث بالنسبة لأقل زمن عمل minimum operating time تستخدم في الإشارة signaling or flagging المرئية vision والسمعية sound متممات ديناميكية mechanical device لتوصيل أطراف لها بأطراف فصل ويعتمد ذلك علي أذرع مغناطيسية attracted armature عند التعامل مع متممات ساكنة static ولكن الثيريستورthyristor لا يعمل مع النوع الميكانيكي للإشارة. كما يعطي أسلوب الإضاءة المشعة light emitting diodes وسيلة مباشرة في هذه الحالة خصوصا وأنها قليلة الجهد ولها إعتمادية عالية وذات عمر طويل، ويمكن إضافة المنافع النابعة عن استخدام الذاكرة والتي قد تغذي متممات صوتية Reed Relay (سرينة) حيث تكون الذاكرة من النوع non-volatile حيث يستمر العمل وعليها الجهد بعد فقدان مصدر الطاقة D C Supply.

كما يمكن الاعتماد علي أجهزة التخزين charge storage device أو الحاسبات المخصصة للوقاية ذات نوعية القراءة فقط electrically erasable / programmable read only memory وتعرف اختصارا بالرمز EEPROM حيث تتمتع هذه النظم بالعديد من المزايا بالرغم من تكلفتها المرتفعة.تصلح الحاسبات للتعامل مع دوائر الوقاية بدقة عالية لما تتميز به من صفات مثل النظم الخبيرة سريعة الأداء عالية الكفاءة، وهي تصلح لتحل محل الوصلات السلكية المنطقية أيضا hard wired contact logic وتظهر أهمية ذلك مع زيادة عدد المتغيرات المنطقية logic variables كما هو الحال مع متممات الوقاية للمسافة distance relay علي الخطوط والكابلات الكهربية، ويمكن عمل أشكال نمطية للذاكرة المستخدمة وأجزاء الحاسب مثل وحدة التشغيل المركزية CPU وتخصيص دوائر كهربية hardware خصيصا لعمل الوقاية.



الشكل رقم 4-13 : تأثير الخواص الأسية

في هذه الحالة نحتاج إلي تصميم خاص بالدوائر العاملة في الوقاية وإعطاء الفرصة لإضافة أو تعديل أي من البيانات للضبط أو التعديل أو التغيير من خلال وحدات الدوائر المطبوعة printed circuits المستقلة ويجب الاعتماد علي نظام الكروت الكهربية المطبوعة IC chips والسماح بالقراءة فقط EPROM منعا للخطأ عند التعامل مع هذا المجال والذي لا يجوز فيه السماح بأي خطأ ولو بقدر ضئيل من ذلك الخطأ. كما تتاح بذلك الفرصة لاستخدام عدة أشكال (دوائر) بمفاتيح خارجية للضبط

thumb wheel switches تسهيلا علي الأداء وبذلك تسهل المتابعة للبرامج ويمكن الاعتماد علي المشغلات الدقيقة في إعطاء التحذيرات أو البيانات المرئية أو السمعية في وقت واحد إذا ما ظهر عيبا في أي من هذه الكروت المطبوعة.
يمكن مع الحاسب بدلا من تشغيل A/D converters مع الحاسب كي لا يحدث تأخير في سرعة الأداء مع المتممات عالية السرعة بحيث تسهل عملية التقلب علي ذلك باستخدام الدوائر المخصصة لهذا الغرض لتحل محل هذه المغيرات وهذا الطابع يناسب بقدر كبير متممات الوقاية ضد زيادة التيار over current relay متأخرة الفصل زمنيا أو بالفصل الفوري كما نراه في الدائرة بالشكل رقم 4-14.

في هذا الشكل نجد أنه تم استخدام الحاسب مستقبلا للإشارة من محولات التيار مع ظهور مقاومات الضبط للتيار حيث تتاح فرصة لتحويل الإشارة الخارجة من الحاسب إلي عداد رقمي أو المخارج الاختيارية التي بينت علي الرسم. يمكن أيضا التعامل مع التوقيت من خلال التفريغ الكهربي في المكثفات وتحديد الزمن بالضبط واللازم ومن ثم التحكم فيه كما يستخدم نفس النظام مع دوائر التحكم الآلي في الكثير من التطبيقات الكهربية.

نري في الشكل 4-14 دائرة للوقاية ضد زيادة التيار ومعه مجموعة كبيرة من الضبط سواء كان للزمن أو لقيمة التيار مع إمكانية التغير الزمني تبعا لتواجد أسلوب اختيار المنحني المطلوب إتباعه عند الفصل.

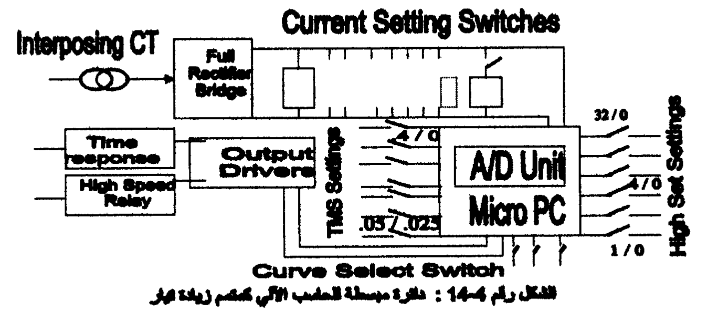
في هذه الدائرة نجد الضبط للتيارات والذي يتم من خلال توصيل المقاومات عند الدخول إلي الحاسب الآلي وقبل ذلك يتواجد الموحد الكامل للموجة من خلال الكباري الموحدة للتيار والتي تركب علي ملفات الجهة الثانوية لمحولات التيار وهذه المقاومات المحددة للتيار تتوالى في القيم مثل (... 0.2/0.1 or 0.2 / 0 or 0.4 / 0) بينما قيم الضبط الأخرى قد جاءت علي الشكل ذاته.

ثانيا: مبدأ الدقة Accuracy

ليس من الواجب توصيل الدوائر الإلكترونية electronic circuits مباشرة مع أطراف الدوائر الكهربية لما لها من تأثير عند هذه الأطراف terminals وما يتبع الحالات الفجائية من أشكال موجة وتأثيراتها المختلفة.

كما يمكن استخدام الأجهزة الضوئية optical devices للحصول علي الإشارات المطلوبة input signals من هذه الدوائر الكهربية وإدخالها إلي الدوائر المنطقية منخفضة المستوي low level logic inputs وذلك يكون مناسبا في حالة العمل مع المتممات ذات الذراع المنجذب attracted armature أو من النوع السريني REED RELAY لأنها تصبح بطيئة الحركة slow بالنسبة لبدء حركة المفاتيح الكهربية السريعة high speed circuit breakers initiation وكذلك لملامسات connectors المتمم السريني خصوصا مع القدرات الصغيرة، إلا أنه مع القدرات الكبيرة يظهر كلا من المتمم السريني الجاف عالي القدرة high power dry type أو الرطب الزئبقي mercury wetted قادران علي تحمل القدرة العالية والتي تصل إلي 3 ك. و. في 10000 عملية تشغيل وفي هذه النوعيات يلزم اتخاذ إجراءات الحماية لها ضد الصدمات الميكانيكية mechanical shocks.

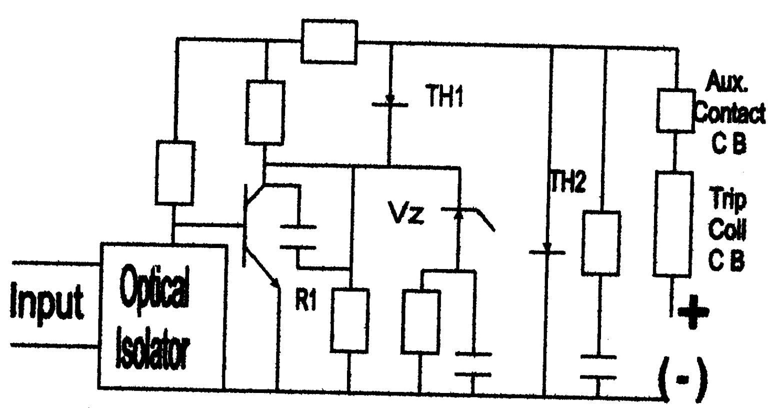
علي الجانب الآخر تنجح الدوائر بالثيريستور thyristor في التغلب علي هذا التداخل interference بين الدوائر المنطقية والشبكات الكهربية حيث أنها تستطيع عزل isolate الدوائر الخارجية تماما (الشكل 4-15)، فنري الإشارة الغامزة trigger signal تدخل من خلال الجهاز العازل الضوئي إلي الثيرستور رقم 1 إذا كان ملف الفصل tripping coil للمفتاح الكهربي CB له ثابت زمني time constant أكبر من 30 ميلي ثانية والثيرستور رقم 2 لن يغمز الدائرة إلا إذا كان التيار أكبر من القيمة المقننة الأدنى لإشعاله minimum firing current، أما الباقي فيتم تبعا لإشارة البوابة gate من الثيرستور رقم 1 وجهد الزينر Zener Voltage والمقاومة R1 بحيث يصبح الجهد عليها أكبر من جهد الزينر المحدد من قبل والأعلى من مستوى جهد تشغيل الثيرستور رقم 2 ويجب هنا إضافة الحماية اللازمة للأوضاع الفجائية الناتجة عن التشغيل كوسيلة أمن security حتى يتحمل الجهاز الاختبارات سواء للتداخل أو النبضية impulse أو حتى نوع burst.



الشكل رقم 4-14 : دائرة مبسطة للحاسب الآلي كمتمم زيادة تيار

أما بالنسبة للأسس الجوهرية للتعامل مع النوعية الرقمية للوقاية في الشبكات الكهربية فهي:

1- صغر الحجم
2- إمكانية تطويرها بسهولة
3- الاعتماد علي توصيل الأطراف داخليا وبأقصر المسافات لتقليل الوصلات الخارجية من جهة ومنع التداخل بين الإشارات من الناحية الأخرى مما يؤدي بتقليل معامل خطورة الصعق surge risk factor ويزيد من تأمين security الدوائر في أداء عملها
4- تحديد طرق وسائل وكذلك مخارج terminals محددة لأطراف الدوائر من أجل الصيانة والاختبار وقياس كفاءة الجودة quality
5- تحديد أطراف كل وحدة صغيرة لتكون مستقلة حتى يتمكن المختصون في المصانع من التعامل معها وإجراء أي أعمال تطوير معها ويمكن الاعتماد علي أسلوب الأسلاك الخلفية back plane wiring في ذلك. هذه التقنية البسيطة تساعد بشكل كبير علي التعامل السهل في الصيانة والمراجعة والتفتيش.
6- إظهار أطراف الاتصال مع محولات التيار أو الجهد ليسهل أعمال التبديل والصيانة
7- عمل فرملة blocking عند رفع هذه الوحدات من الخدمة بشرط ألا يتم الفصل إلا بعد توصيل الكباري bridges والتي تتواجد مع الوحدة خصيصا لهذا الغرض علي الأطراف المحددة
8- إتاحة الفرصة لاستخدام نظم الكروت المطبوعة printed cards لأعمال الصيانة
9- إنتاج وحدات صغيرة مستقلة مما يعطي المرونة في التعامل معها سواء في المصانع المختلفة أو عند إضافة وحدات أو تعديل أية دوائر أو عند إعادة الضبط setting.



الشكل رقم 4-15 : دائرة فصل تلقائي للوقاية بالثيرستور

ثالثا: أسس الدوائر النهائية Circuits

نظرا لاحتواء الدوائر الإلكترونية علي أشباه الموصلات semiconductors فإنها تتعرض لظهور الموجات غير الأصلية والتي تنتمي لمجموعة الموجات التوافقية أو التي تعرف بأنها شوشرة noise في الدوائر الكهربية والكميات المتعاملة معها ولهذا تنشأ فيها نوعين من الأعطال وهي إما العيوب التي تتمثل في النكباتcatastrophic وهو ما يحتاج إلي اختبار العزل الكهربي أو تلك التي تأتي مثل رداءة الأداء $R1 = 0.2\ k\Omega$, $R3 = 0.5\ k\Omega$, $R5 = 1\ k\Omega$ maloperation وهو ما يحتاج إلي اختبار التردد العالي HF disturbance test (الشكل رقم 4-16) حيث تستخدم موجة نمطية بذبذبة 1 ميجا هيرتز ومعدل التكرار 400 مرة / ثانية ولها معدل إخماد قدره من 3 حتى 6 دورة ، ولذلك نحتاج إلي أسلوب واضح لإجراء التجارب التي تحمي هذه الدوائر من تلك العيوب أو علي الأقل تزيد من طول عمر تشغيلها وتخفض معامل احتمال الانهيارات أثناء التشغيل.

جدير بأن تتحدد قيم المقاومات التي تتلاءم مع كل جهد اختبار مع التأكيد علي أن الغلاف الذي يخص المتمم أو الجهاز المختبر لا بد وأن يكون متصلا بالأرض كجهد صفري.

حيث أن التطور الحادث علي هذه الجبهة بدءا من المكبرات الخطية linear operational amplifiers ثم البوابات الرقمية digital gates ثم إلي الدوائر المنطقية logic circuits وأخيرا الدوائر المتكاملة متعددة الأغراض multi purpose integrated circuits أو تطوراتها مثل الدوائر الكبيرة large scale digital IC أو بعد ذلك الذاكرة memories ثم انتهاء مع المشغلات الدقيقة microprocessors فكان من الضروري التأكيد علي جودة أي منها بل وجميعها أيضا فتكون هناك أهمية للمتابعة لتقليل معامل الانهيارات failure factor الإحصائية لتشغيل هذه الدوائر وتلافي أسباب ظهورها.

لهذا نهدف في الدوائر الإلكترونية إلي هدفين هما:

الأول: رفع كفاءة الأداء high performance

الثاني: قلة التكلفة economic production

ذلك ممكن مع ضرورة الاحتفاظ بالجودة علي أعلي المستويات، كما يمكن الاعتماد علي بعضا من المحاور الهامة وصولا إلي الهدف السابق نتناولها في السطور التالية .ويعتمد علي أسلوب البرامج المتكاملة (حزم برمجية) software للتشغيل علي الحاسب الآلي للحصول علي نتائج الجودة المطلوبة جزئيا وكليا في آن واحد توفيرا للجهد والوقت والتكلفة أيضا، فنلخذ هذا التأكيد علي الجودة في جزأين.

الجزء الأول : المكونات components

يعتمد الاختبار هنا علي نوعين هما:

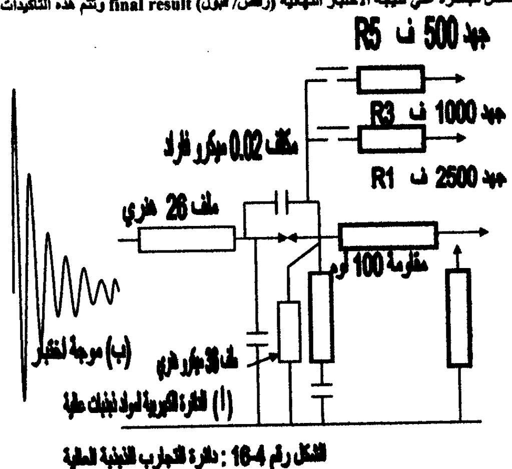
1- الاختبار الديناميكي dynamic test

هذا الإختبار يجب أن يتم عند درجة حرارة 70 ْم

2- الاختبار الإستاتيكي static test

من المحدد أن يتم الاختبار الإستاتيكي عند الدرجتين: إما 85ْم/160 ساعة أو 100ْم/ 72 ساعة.

نحتاج لهذه الاختبارات لأن الدوائر تتأثر بشدة بدرجات الحرارة وتتغير معها نقاط العمل لكل جزء فيها ويكون الاختبار للأجزاء المستقلة هادفا إطالة عمر هذه الوحدة المتكاملة لأن انهيار الجزء يزيد من العبء الكهربي علي بقية الأجزاء مسرعا من تلفها ويمكن برمجة الاختبارات بشكل مباشر مع الحاسبات كي نحصل مباشرة علي نتيجة الاختبار النهائية (رفض/ قبول) final result وتتم هذه التأكيدات للجودة علي مراحل ثلاث بجانب اختبار تكميلي أساسي عند الحاجة إليه هي:



الشكل رقم 4-16 : دائرة التجارب الذبذبية العالية

1- اختبار التشغيل والأداء functional test ويتم بمساعدة المشغلات الدقيقة

2- اختبار ديناميكي لتحديد burn in عند 70 درجة م لمدة 48 ساعة تشغيل

3- كل الأجزاء التي تمر بنجاح من الاختبار الحراري بعد مرورها علي الاختبار السابق الأول

4- كل الأجزاء التي تقع عليها احتمالات العيوب تمر باختبار آخر مبرمج اعتمادا علي مبدأ drift

الجزء الثاني: الدوائر الشاملة المطبوعة printed circuits

يميز المتممات الساكنة ذلك المدى واسع النطاق للعمل فيها وتطبيقاته من أسلوب التشبيه analogue وحتى الدوائر

VLSI والحاسبات الآلية وكل هذا يتعرض لعدد من العيوب النمطية مثل: اللحام solder القنطرة bridge - النقط الجافةdry joint - الاتصالات المفتوحة disconnected circuits وهذا يتطلب التدقيق والاختبار لكل الأجزاء الفعالة active components أو غير الفعالة passive components ولذلك نجد النماذجmodules ووصلاتها في حاجة إلي المراجعة قبل وبعد الإنتاج ففي الوصلات ندخل إلي مجال ترتيب الوصلات connections اعتمادا علي أسلوب wire wrapping technique ويمكن البرمجة لأداء الاختبار وتكون مزودة بما يعرف الوصلات الخلفية back plane wiring ويتم الاختبار بالاستعانة بمولد نبذبة متعدد الأوجه multi phase AC signal generator حيث يغذي جهاز فولت متر رقمي مع عداد زمني وباستخدام الحاسب الآلي والحزم البرمجية software المخصصة لهذا الغرض وهي التي تسهل هذه المهمة كما تعطي الفرصة في ذات الوقت للتعامل مع الأقراص المرنة floppy disk.

رابعا: الاختبارات Tests

تتنوع الاختبارات عموما خصوصا مع التطور السريع في هذا المجال إلي أربع محاور هي:

المحور الأول: اختبارات الإنتاج production Test

المحور الثاني: اختبارات التفتيش الهندسي Inspection

المحور الثالث: اختبارات المصنع Factory Tests

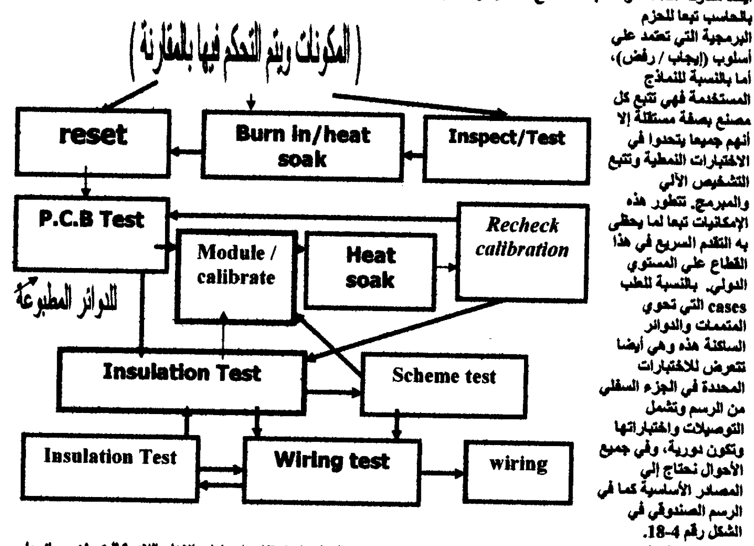
المحور الرابع: الاختبارات الدورية Routine

أما عن المحور الأول فيشمل عددا من الأنواع الهامة هي:

النوع الأول: اختبار الإنتاج production test

ذلك الاختبار هو ما يشمل تلك الاختبارات التي ذكرت من قبل مع الجودة في الإنتاج وتعطي النتائج مطبوعة مباشرة تسهيلا في الأداء وسرعة في الإنتاج وتتم هذه الاختبارات كما يظهر من الشكل 4-17 علي عدة محاور.

من ذلك الشكل نري أن المكونات عموما تختبر بالتحكم من الحاسب الآلي للمعاملات تحت الاختبار وتعطي النتائج مباشرة وتتم خلالها أيضا مقارنة هذه المكونات بتلك النتائج النمطية والمطابقة للمواصفات. أما للدوائر المطبوعة فنجد أنها تتأثر بأسلوب التشخيص بالحاسب تبعا للحزم البرمجية التي تعتمد علي أسلوب (إيجاب / رفض)، أما بالنسبة للنماذج المستخدمة فهي تتبع كل مصنع بصفة مستقلة إلا أنهم جميعا يتحدوا في الاختبارات النمطية وتتبع التشخيص الآلي والمبرمج. تتطور هذه الإمكانيات تبعا لما يحظى به التقدم السريع في هذا القطاع علي المستوي الدولي. بالنسبة للعلب cases التي تحوي المتممات والدوائر الساكنة هذه وهي أيضا تتعرض للاختبارات المحددة في الجزء السفلي من الرسم وتشمل التوصيلات واختباراتها وتكون دورية، وفي جميع الأحوال نحتاج إلي المصادر الأساسية كما في الرسم الصندوقي في الشكل رقم 4-18.



الشكل رقم 4-17 : اختبارات الإنتاج اللازمة المتممات ودوائرها

النوع الثاني: اختبار العزل

insulation test

هو ما يتم لقياس قدرة العزل على تحمل الجهود العالية التي تتعرض لها هذه الدوائر ولها اختبار نمطي هو:

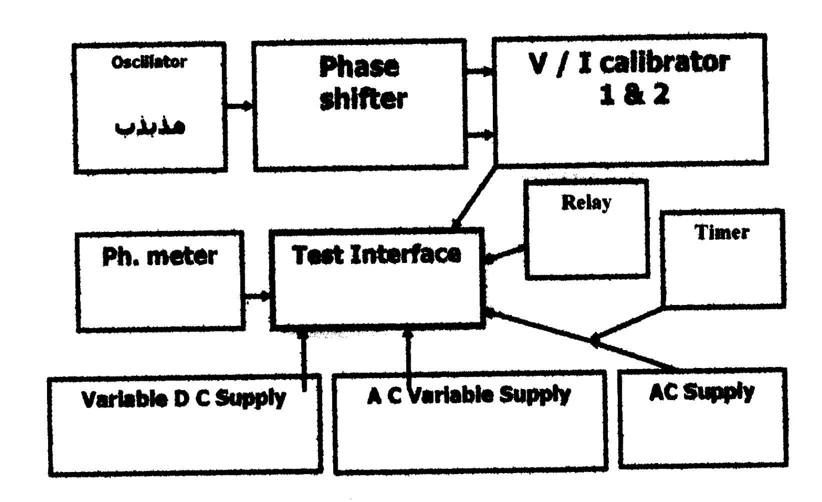
1- الاختبار النبضي impulse test

(مقنن 2.5 kV , 1.2 / 50 μs)

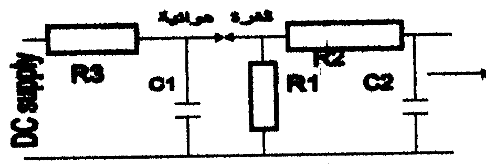
يتم ذلك هنا على أساسين، فالأول يتم باستخدام دوائر كهربية hardware مخصصة لهذا الغرض أما الثاني فيتجه إلى الحزم المبرمجة حتى يعطي المجال الأوسع في التطبيقات وقد يعطي الفرص كي نصل بالجهد إلى 5 ك. ف . بدلا من 2.5 ك. ف، ويقدم الشكل رقم 4-19 الدائرة الخاصة بالاختبارات للعزل عند جهدي 5 أو 1 ك. ف. بشرط أن يتم توصيل جسم المتمم أو الجهاز حسب الأحوال بالأرض. نجد أن هذه الدائرة تعطي الفرصة لتوليد الجهدين تبعا لتغير قيمة المكونات فيها كما في الجدول رقم 4-1.

النوع الثالث: الاختبار النهائي final test

نحتاج هنا لنظم الاختبارات المتكاملة والتي تعطي الفرصة لاختبار الجزء والكل في آن واحد وذلك متاح من خلال أسلوب المحاكاة وهو ما يكون عادة في متناول المتخصصين بصدد الشبكات الكهربية ويقدم الشكل رقم 4-20 الشكل العام للمحاكاة في النظم الكهربية.



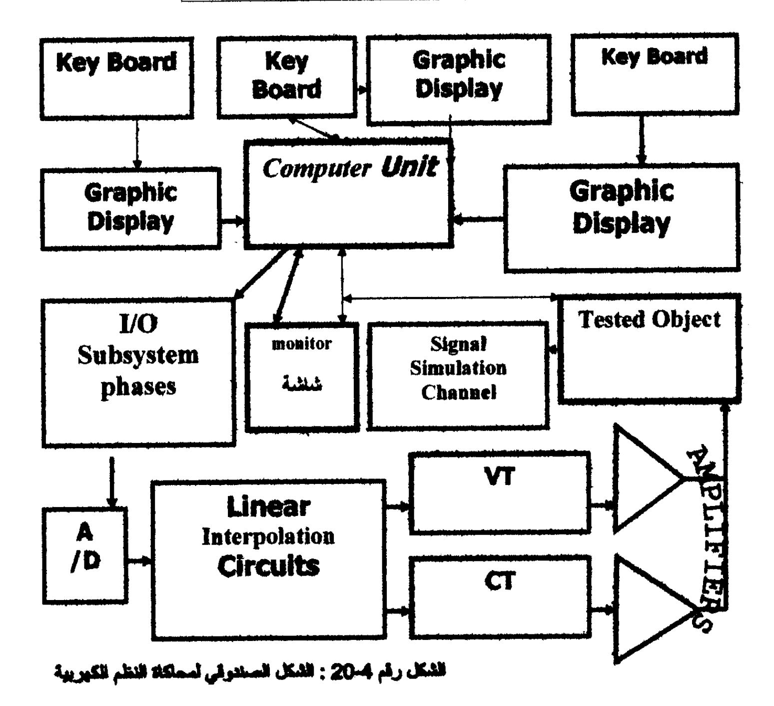
الشكل رقم 4-18 : وحدة الاختبار الأساسية



الشكل رقم 4-19 : دائرة التجارب لمولد الموجة النبضية

الجدول رقم 4-1 : قيمة مكونات دائرة الاختبار لجهدي 1 و 5 ك. ف. النبضي

المكونة	للجهد 1 ك. ف.	للجهد 5 ك. ف.
R1	180 أوم	1800 أوم
R2	500 أوم	500 أوم
C1	0.6 ميكرو فاراد	35 نانو فراد
C2	0.8 نانو فاراد	0.8 نانو فراد

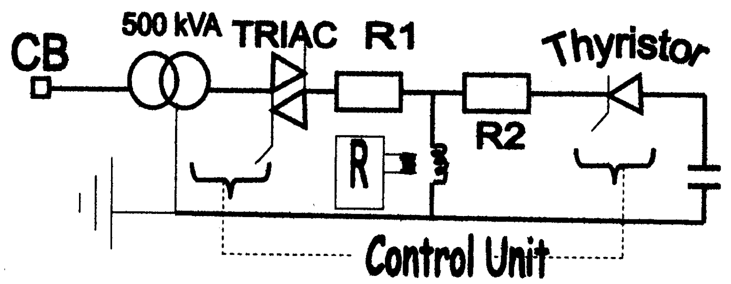


الشكل رقم 4-20 : الشكل الصندوقي لمحاكاة النظم الكهربية

نري من الشكل رقم 4-20 أن الحاسب الآلي قابل للاتصال بنماذج لنظم كهربية أخري كما هو مبين بالأسهم المشار بها علي حدود الحاسب ونشير إلي أن المحول من القيم الواقعية إلي الرقمية يخصص لكل وجه أو وحدة واحدة ذات القنوات الثلاث لتتحول قيم الجهد عن طريق محول الجهد وهو ما يفضل أن يكون من النوع المكثف تصميما وتتحول التيارات من خلال محول التيار فتمران هذه النوعيتين علي مكبرات مخصصة لكل منهما وتصل في النهاية إلي الجهاز أو المتمم أو غيره من الأجزاء تحت الاختبار ويمكن متابعة كل النتائج من خلال شاشة العرض الموضحة علي الرسم .

عادة ما نحتاج إلي الاختبار لحالة ما إذا كانت النسبة بين كلا من المحاثة والمقاومة كبيرة وتستخدم الدائرة الموضحة في الشكل رقم 4-21 لهذا الغرض فتظهر فيها أن الدائرة تعتمد علي نظام العمل مع الثيرستور مع التحكم الآلي معها للموجات.

يظهر محول بتوصيل دلتا / ستار مؤرضة ويعطي الجهود تبعا للمقننات القياسيةstandard values وهي 11 ك. ف. / (880 أو 660 أو 440 فولت) ويتم اختيار المتمم من خلال محول التيار.

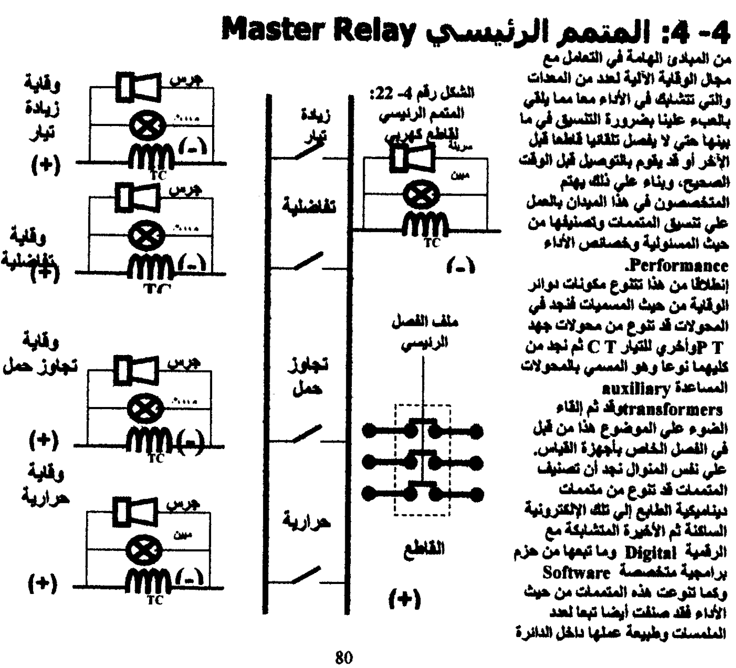


الشكل رقم 4-21 : دائرة مبسطة للحصول على نسبة الفاعلية مقارنة بالمقاومة

4- 4: المتمم الرئيسي Master Relay

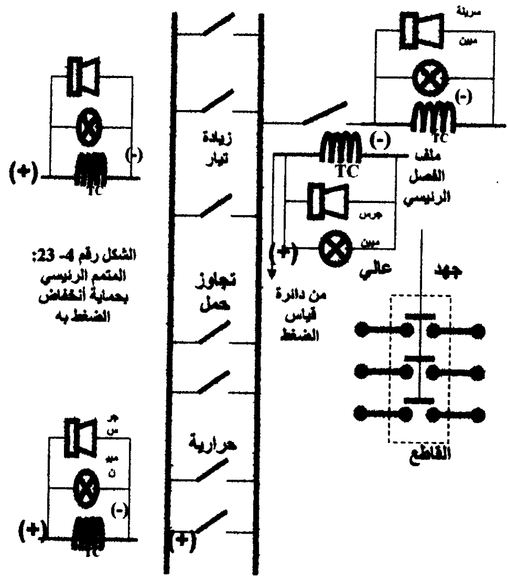
من المبادئ الهامة في التعامل مع مجال الوقاية الآلية لعدد من المعدات والتي تتشابك في الأداء معا مما يلقي بالعبء علينا بضرورة التنسيق في ما بينها حتي لا يفصل تلقائيا قاطعا قبل الآخر أو قد يقوم بالتوصيل قبل الوقت الصحيح، وبناء علي ذلك يهتم المتخصصون في هذا الميدان بالعمل علي تنسيق المتممات وتصنيفها من حيث المسئولية وخصائص الأداء Performance.

إنطلاقا من هذا تتنوع مكونات دوائر الوقاية من حيث المسميات فنجد في المحولات قد تنوع من محولات جهد P Tوأخري للتيار C T ثم نجد من كليهما نوعا وهو المسمي بالمحولات المساعدة auxiliary transformersوقد تم إلقاء الضوء علي الموضوع هذا من قبل في الفصل الخاص بأجهزة القياس. علي نفس المنوال نجد أن تصنيف المتممات قد تنوع من متممات ديناميكية الطابع إلي تلك الإلكترونية الساكنة ثم الأخيرة المتشابكة مع الرقمية Digital وما تبعها من حزم برامجية متخصصة Software وكما تنوعت هذه المتممات من حيث الأداء فقد صنفت أيضا تبعا لعدد الملمسات وطبيعة عملها داخل الدائرة



الشكل رقم 4- 22: المتمم الرئيسي للقاطع كهربي

فمنها متعدد الملمسات Multi Contactors ووحيدة الملمسات ومنهم أيضا مغلقة أو مفتوحة الملمسات وهكذا.
علي الجانب الآخر تقوم المتممات Relays بعمل متخصص في أغلب الأحيان تأسيسا علي مبادئ التمييز في دوائر الوقاية ومنظوماتها وبهذا يتخصص كل متمم بأداء عمل لغرض محدد فمثلا هناك المتمم الذي يعمل مع وقاية معينة مثل زيادة التيار أو غير ذلك، مما يجعلنا أن نصبح أكثر تخصصا في التعامل مع كل جزئية من مكونات دوائر الوقاية.
تدعيما لرفع الإعتمادية Reliability لأداء المتممات من أجل غرض وجوده أصبح من الضروري تخصيص متمم رئيسي Master Relay(الشكل رقم 4-22) لكل معدة فصل الا وهي القاطع Circuit Breaker ومن ثم يلزم أن يتخصص أحد المتممات دون غيره بأداء الفصل التلقائي لكل قاطع وهذا المتمم الرئيسي هو المسئول عن تلقي طلبات الفصل من أي من المتممات المتخصصة التي تطلب الفصل ليقوم هو بدورة بإعطاء الأمر النهائي للفصل Tripping .
أي أنه لا يجوز تخصيص متمم رئيسي ليفصل المحول والمولد أو غيرهما ولكنه لا بد وأن يكون المتمم الرئيسي مسئولا فقط عن الفصل والتوصيل التلقائي Automatic Switching لقاطع بعينه فمثلا إذا ما كان المحول له ثلاث قواطع يكون من الضروري تواجد ثلاث متممات رئيسية لهذا المحول بمعدل متمم رئيسي لكل قاطع وكل منهم يتعامل مع المتخصص له.
مما سبق يتضح أن المتمم الرئيسي يختلف عن المتممات الأخري ويكون ذلك هاما عند تصميمه كما في الشكل رقم 4- 22. من الجهة الأخري نلاحظ وجود الجرس Bellمع ملف الفصل الخاص بزيادة التيار أو تجاوز الحمل بينما يتبدل الوضع بالنسبة لملف المتمم الرئيسي حيث يتواجد معه سرينة Horn وليست الجرس وهذا نوعا مهما من التمييز Discrimination بين حالات الفصل الرئيسي أو التشغيل لدوائر الفصل في دوائر الوقاية. أما بالنسبة لمبينات الإشارة Indicators(المصابيح المبينة ضوئيا) فقد تكون واحدة كهربية إلا أنه يمكن وضع قواعد التمييز لتوضيح حالات الفصل الرئيسي بشكل بيضاوي Oval بينما تكون الحالات الأخري بشكل مستطيل Rectangular مثلا وليست قاعدة.



الشكل رقم 4- 23: المتمم الرئيسي بحماية أنخفاض الضغط به

بالرجوع إلي الشكل رقم 4-22 نجد أن الدوائر السلمية Ladder Circuitsقد ظهرت وهي أسهل الطرق لفهم دوائر الوقاية Protectionوالتحكم Control بشكل عام ومنها نستطيع التعرف علي أن هذه الدوائر تعمل بطريقة متتابعة وليست في ذات الوقت أي أن دوائر الوقاية تعمل إن كانت لزيادة التيار مثلا ويكل منها ملف الفصل الخاص بالخاصية المحددة له ولغرض الدائرة المعينة ويكون معها ملامسات منها ذلك الملامس الظاهر في الدائرة السلمية والذي يعمل فور مرور التيار بهذا الملف. يبين أيضا أن كل الملامسات المرافقة لكل ملفات الفصل المتخصصة هذه تعمل في دائرة كهربية علي التوازي بحيث أنه إذا ما تم تشغيل أي من ملفات الفصل المتخصصة ينتقل الجهد الموجب مباشرة إلي ملف الفصل الرئيسي أي ملف الفصل الخاص بالمتمم الرئيسي ليقوم بأداء الفصل التلقائي.
من هذا كله يتضح أنه مع تخصيص غرض الفصل ومع تعميم الفصل عن طريق المتمم الرئيسي يكون نظام التمييز محكما بهدفين هما:

1- تحقيق الفصل بدقة Exact Tripping.

2- تمييز نوعية الخطأ Fault Type المسبب للفصل التلقائي أو إن كانت عدة نوعيات في وقت واحد.

علي الجانب الآخر يقوم القاطع الرئيسي بدائرة الجهد العالي Primary Circuit بالشبكة الكهربية بفصل تيارات عالية أثناء التشغيل العادي وتزداد قيمة التيارات هذه أثناء القصر Short Circuit وتصبح كميات هائلة من التيار مما قد يتسبب في انفجار القاطع أو

تدميره. هذا يحدث نتيجة للطاقة الحرارية المتراكمة داخل غرفة الشرارة **Arcing Chamber** الخاصة بالقاطع أو بكل غرف الشرارة أو أي منهم وهذا إحتمال تلقي علمي مقرون بإجراءات الفصل داخل عملية إطفاء الشرارة ومن خلال ميكانيزم **Mechanism** الحركة به، وهذه الآلية هي التي تضع أمامنا العقبات في عملية الفصل التلقائي ومن ثم لا يجوز أن نفصل قاطعا كهربيا لا يستطيع قطع التيار المار هذا.

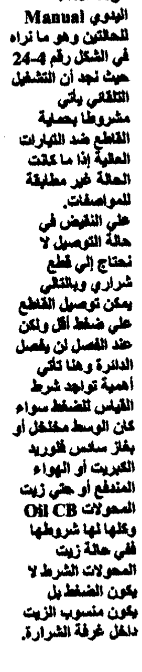
إنطلاقا من هذه النقطة الهامة نضع التعليمات والشروط اللازمة لفتح الدائرة الكهربية داخل غرف (غرفة) الشرارة الخاصة بالقاطع، وحيث أن القواطع متنوعة وتعمل بنظريات قد لا تكون واحدة فيكون من الجوهري التأكد آليا من تواجد هذه الشروط.

من أهم هذه الشروط أن يكون القاطع قادرا علي القطع الكهربي تبعا لمقننات القاطع ذاته ولهذا نجد أن هناك أنواعا مختلفة من القاطع خصوصا للجهد العالي فمنها قواطع الهواء المندفع **Air Blast** أو تلك التي تعمل بسادس فلوريد الكبريت SF_6 أو الأخري التي تحمل تحت الضغط المخلخل **Vacuum** وجميعها يحتاج لتوافر هذا الوسط سواء كان مخلخلا أم هواءا مندفعا أو غاز عازل وكلهم يعملون تحت ضغط أما منخفض جدا مثل الأول المخلخل أو عالي مثل الآخرين.

يختل التوازن لقطع الشرارة في الغرف المخصصة لها داخل القاطع إذا ما قلت القيمة للضغط عن القيمة المحددة قياسيا وتبعا لمقننات القاطع ولما كانت هذه القيمة قد تختل لظرف أو لآخر فكان من الجوهري التأكد آليا من توافر شروط الضغط داخل الغرف الشرارية بالقاطع ولهذا السبب يتم وضع مفتاح (قاطع) في دائرة الفصل التلقائية علي التوالي مع مفتاح (الملامس) ملف الفصل الرئيسي كما هو وارد في الشكل رقم 4-23.

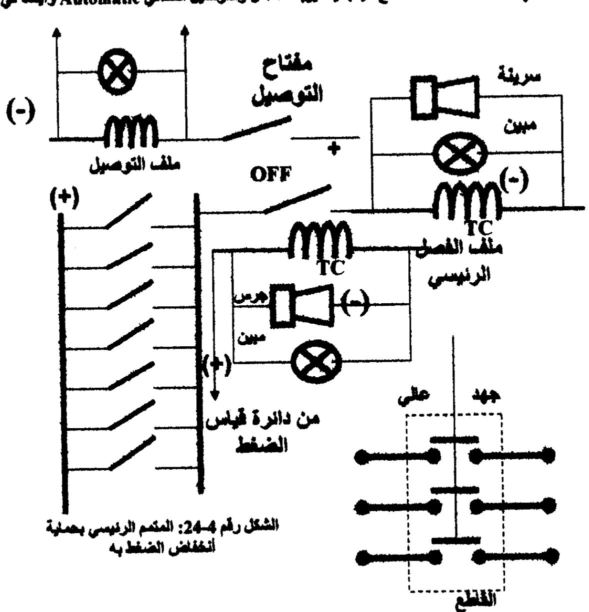
نري في الشكل أن ملف الفصل القادم عن قياس الضغط لغرفة الشرارة يقوم بفصل الملامس الخاص به إذا ما إنخفض الضغط عن القيمة المقننة وهكذا يكون قد تم وضع نظام لوقاية القاطع ذاته وهو الذي بالتالي يقوم علي حماية الدائرة الكهربية العامل بها (الجهد العالي).

من الناحية الأخري يعمل القاطع علي الجهد العالي بعدد من الحالات مثل الفصل اليدوي أو الفصل التلقائي **Tripping** أو التوصيل **ON** اليدوي أو التلقائي أحيانا فيدعونا إلي تحديد نظاما لأداء القاطع آليا بحيث يربط الفصل والتوصيل التلقائي **Automatic** وأيضا في نفس الوقت الأداء



اليدوي **Manual** للحالتين وهو ما نراه في الشكل رقم 4-24 حيث نجد أن التشغيل التلقائي يأتي مشروطا بحماية القاطع ضد التيارات العالية إذا ما كانت الحالة غير مطابقة للمواصفات.

علي النقيض في حالة التوصيل لا نحتاج إلي قطع شراري وبالتالي يمكن توصيل القاطع علي ضغط أقل ولكن عند الفصل لن يفصل الدائرة وهنا تأتي أهمية تواجد شرط القياس للضغط سواء كان الوسط مخلخل أو بغاز سادس فلوريد الكبريت أو الهواء المندفع أو حتي زيت المحولات **Oil CB** وكلها لها شروطها ففي حالة زيت المحولات الشرط لا يكون الضغط بل يكون منسوب الزيت داخل غرفة الشرارة.



الشكل رقم 4-24: المتمم الرئيسي بحماية أنخفاض الضغط به

دائرة الوقاية PROTECTIVE CIRCUIT

تعنى دائرة الوقاية بتلك الدائرة ذات المهمة المحددة للتخلص من خطأ معين في الدائرة الرئيسية بالشبكة الكهربية ذات الجهد العالي وهي معرفة فنيا في مجال الوقاية ولذلك سوف نتحدث بإيجاز عن أهم هذه الدوائر كبداية للتعامل مع هذا المجال المتخصص والذي يحتاج إلي المزيد من التركيز والتحليل والدراسة مع كل تشغيل تلقائي بل ومع كل إشارة قد تحدث دون تشغيل أجهزة الوقاية أو أي منها، كما أن هذا الأسلوب سوف يزيد من الشرح لمفهوم منظومة الوقاية والتي سوف نتعرض لها كموضوع في الفصل القادم.
تمثل دائرة الوقاية النواة الحقيقية في شبكة الوقاية ككل وهي تتنوع وتتباين حسب النوع أو الغرض فمنها دوائر تعمل علي التمييز الزمني ومنها تلك المحددة لمكان الخطأ وكذلك هناك دوائر لتحديد نوع الخطأ وهناك أيضا نوعيات من هذه الدوائر تتعامل مع بعض أو كل هذه النوعيات من التمييز كأجزاء داخل دائرة الوقاية وهو ما سوف ندخل به من حيث المفهوم من خلال هذا الفصل، يدرس هذا الفصل النوعيات المختلفة الأساسية في مجال الوقاية عموما ومنها تلك الوقاية ضد زيادة التيار أو زيادة الحمل أو الجهد أو انخفاض الجهد أو الذبذبة أو تغيير اتجاه سريان القدرة أو قيمة المقاومة المعبرة عن المسافة للخطوط أو غير ذلك من الكميات التي تعبر بطريقة غير مباشرة عن التشغيل غير العادي للشبكة أو القياسات غير المباشرة والتي تشير إلي وجود خطأ ما في الشبكة الابتدائية من حيث المبدأ وغير ذلك من المواضيع الهامة والتي قد تستكمل في الفصل التالي له.

5-1: حماية التيار Current Protection

المقصود هنا ما ينجم عن خطورة التيار ولذلك تكون الوقاية ضد ارتفاع قيمة التيار عن المقنن المسموح به لأنه ضار بالتوصيلات والوصلات والموصلات كما أنه يقضي علي الملفات وكل ما يتعلق بها ولذلك نأخذ معالجة التيار هنا علي محوري زيادة التيار over current (وهو إما تيار قصر طور من الأطوار أو البعض أو كلهم وإما التيار الذي يتصل مع الأرض) وكذلك زيادة الحمل over load وهي الزيادة التي يسمح بها التصميم للمعدة لفترة زمنية قصيرة وهكذا نتناول موضوع التيار ككل فيما بعد. عند التطرق إلي موضوع زيادة التيار والوقاية من خطورته الناجمة عن وجود خطأ وما يتبعها من خطر داهم علي مكونات الشبكة الكهربية وخاصة تلك التي تحتوي علي ملفات كهربية وبها عزل وعليها ضغط حراري مما يزيد من العبء عليها إلي قدرات فوق الطاقة، يجب أن نتعامل مع ممانعات الحالات الانتقالية (Xd') machine transient reactance بالنسبة للماكينات وتتمثل في المولدات والمحركات والمحولات وممانعات الجهد الفائق مع البيانات الأساسية التالية:

1- الرسم الخطي للشبكة single line diagram محددا عليه نوع ومقنن مكوناته بما فيها محولات القياس (محولات جهد VT أو محولات تيار CT).
2- القيمة القصوى والأدنى لتيار القصر short circuit level في كل موقع علي الشبكة وكذلك تلك القيم بالنسبة إلي كل جهاز وكذلك بالنسبة لدائرة الوقاية الخاصة بكل منهم
3- منحنيات خواص محولات القياس performance في الدوائر المختلفة للوقاية
4- قيمة المعوقة impedance في كل الشبكة لجميع المكونات في واحدة من الوحدات التالية: (Ω – مئوية – نظام الوحدة p. u.)
5- تيارات البدء starting currents للمحركات المختلفة بالشبكة وزمنها
6- منحنيات التغير لمعدل خفض الأحمال incremental loading علي المولدات لكل واحد من المولدات المتواجدة بالشبكة
7- التيار الأقصى لتحميل أجهزة الوقاية Circuit capacity
8- القدرة الأقصى لمحطة البطاريات battery rating من أجل تغطية أحمال شبكة الوقاية التي تقوم علي عملية الوقاية بالكامل داخل محطة التوليد أو المحولات أو محطات التوزيع.
9- أقصى قيمة للتيار المعتاد من خلال أجهزة الوقاية

بناءا علي ذلك نجد أنه للحصول علي أقصر وقت تشغيل فصلي tripping للتيار عند أقصى قيمة متوقعة لتيار قصر يجب أولا تحديد قيمة ضبط المتمم relay setting والتأكد عما إذا كان التشغيل سيتم بكفاءة عند أقل قيمة متوقعة لتيار القصر short circuit current كما يلزم رسم منحنيات المتممات وأجهزة الوقاية الأخرى مثل المصهر خصوصا في الدوائر المحورية radial حيث يتم التوصيل علي التوالي in series (الشكل رقم 5-1)، ويكون مناسبا الاستعانة بمقياس للتيار المتوقع عند أقل جهد مرجعي lowest voltage base أو اختيار قيمة مرجعية للقدرة base MVA ومن ثم إختيار تيار مرجعي لكل مستوي جهد علي الشبكة الكهربية.
جدير بالذكر أن هذه التيارات الزائدة over current عن الحدود المناسبة للتشغيل لها من الأضرار التي تجعلنا نتعامل معها كحالة وبائية abnormal condition في الشبكة الكهربية ولذلك يتم الاستعانة بكل من المصهر fuse أو القاطع breaker المزود بملفات لتجاوز الحمل over load أو بملفات فصل بزيادة التيار أو بالاعتماد علي عمل المتممات relay لفصل القواطع الكهربية في الشبكات الكهربية الكبيرة.

أولا: تيار القصر بين الأطوار Phase Short Circuit Current

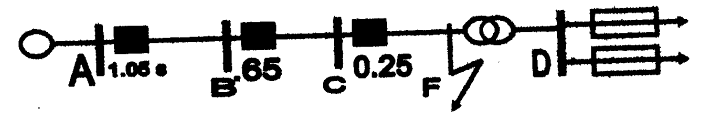
التمييز في قواعد الفصل التلقائي بالشبكة ذات التوصيل المتتالي بالنسبة لقيمة التيار كقصر يحتاج إلي عددا من الأنواع التفضيلية وهي (التمييز الزمني Time أو التمييز بقيمة التيار value أو التمييز المختلط value / Time) والنوع الأخير هو الأهم لأنه يشمل الآخرين ومن ثم فإن تنسيق العمل للمتممات العاملة علي وقاية الشبكة تخضع للأسس التالية:

1- استخدام متممات بذات الخواص ومتماثلة similar بقدر الإمكان في النظم المحورية الكهربية radial لأنها الأنسب من ناحية الشرح والإيضاح لمثل هذا الطابع من العمل.

2- التأكد من ضبط setting قيمة التيار كل متمم بحيث يساوي التيار السابق عنه أو يقل في قيمة الضبط
أما من جهة التمييز فنتناوله فيما يلي:

1- التمييز الزمني Time Discrimination

حيث يكون من المعتاد في كل شبكات التوزيع الكهربي محورية الطابع ضبط أدني قيمة زمنية للفصل عند 0.25 ث وبالتالي تتراجع القيمة الزمنية لسرعة الفصل بقيمة تقريبية هي 0.4 ث كما هو مبين علي الرسم في الشكل رقم 5-1 فنبدأ حساب ذلك الزمن الأدنى عند أبعد نقطة فصل عن محطة التوليد وتتزايد القيمة الزمنية للفصل تباعا كلما اقتربنا من محطة التوليد عند القضبان A.
هذه النوعية من المتممات الزمنية لا بد وان تكون محددة الزمن definite time relay حيث تبدأ جميع المتممات بالشبكة الكهربية إذا ما وصلت قيمة التيار إلي قيمة الخطأ المحدد وعليه يتم تشغيل كل متممات الفصل علي طول الشبكة ويتم فصل التيار نتيجة الخطأ ويكون زمن تشغيل كل متمم مختلف عن الثاني كما هو محدد علي الرسم ويعيب هذه النوعية أنه إذا ما حدث هذا القصر بجوار محطة التوليد ومن ثم يفصل المفتاح CB عند المحطة علي زمن هو ذلك المحدد علي الرسم بينما يتم فصل الأجزاء الأخرى بالشبكة عند أزمنة أقل ويمثل هذا النظام بذلك عبء كبيرا علي المولدات حيث يتأخر فصل المفتاح المجاور للمولد وهو ما يهدد الشبكة ككل ولذلك لا يجوز الاستعانة بهذا النوع من التمييز وحده حرصا علي سلامة المولد.



الشكل رقم 5-1 : الرسم الخطي لشبكة محورية

2- التمييز بقيمة التيار Current Discrimination

يكون التعامل مع التيار علي محور القيمة value فنجد المرجع هنا لزيادة التيار بوحدة الأمبير ولهذا نري في الشكل رقم 5-2 شبكة محورية وكيفية ضبط قيمة التيار لفصل المفاتيح الكهربية بالشبكة حيث نجد المولد 250 م. ف. أ. ، 11 ك. ف. بينما المحول بقدرة 4 م. ف. أ. وجهد 11 / 3.3 ك. ف. ومقاومة 7 % علما بأن حدود مستوي القصر هو 180 م. ف. أ.
نضيف كذلك أنه بناء علي زمن الفصل هذا تظهر ثلاثة حالات من الفصل وهي في حقيقة الأمر عبارة عن نوعيات من الفصل أو خواص لأسلوب الفصل وهي:

أ) متممات سريعة الفصل *High Speed Tripping*

هي ما تعرف باسم الفصل الفوري instantaneous ولكنه لا يمكن من الناحية العملية أن يتم الفصل في زمن صفري Zero Time ولذلك فان الزمن اللازم لتشغيل القاطع لأداء الفصل Tripping يكون في حدود 0.08 ثانية.

ب) متممات محددة زمن الفصل *Definite Time Tripping*

في هذا النوع يكون الفصل خاضعا للعلاقة بين التيار I والزمن t بحاصل ضرب بقيمة ثابتة K طبقا للمعادلة:

$$I \cdot t = K \qquad (5\text{-}1)$$

ج) زمن فصل تعاكسي مع التيار *Inverse Minimum Time Tripping*

تتغير العلاقة بين التيار والزمن كدالة أسية بالأس n وهي تتغير ما بين 2 و 8 لتصبح كما في الصيغة:

$$I^n\, t = K \qquad (5\text{-}2)$$

عندما تأخذ قيمة الأس قيمة صغيرة يكون هو فصل عكسي أما إذا ارتفعت هذه القيمة فيكون شديد التعاكس very inverse أو extremely inverse وهي الخصائص الأساسية للتمييز الزمني والتي سبق شرحها في الفصول السابقة وهي أيضا سوف تتحدد بذلك تبعا للحالة المطلوبة وهو ما سوف يظهر جليا في الجزء التالي من البند الحالي والخاص بالتيار.
في هذا الشكل نجد أن التيار المار عند كل نقطة خطأ يختلف عن الآخر وإذا أخذنا الجهد الوجهي فيكون 6350 ف كجهد طوري بدلا من 11 ك.ف. (الجهد الخطي) بعد القسمة علي ($\sqrt{3}$) ومن ثم تكون المقاومة المقابلة للخطأ عند F_1 هو

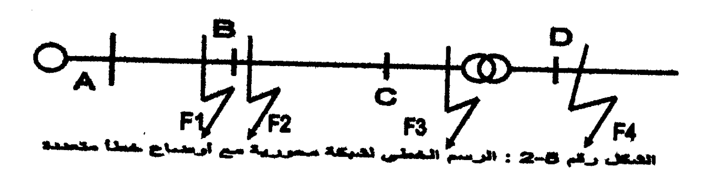
التيار=6350/(مقاومة التوليد+ مقاومة الخط) (3-5)

حيث مقاومة الخط هي 0.24 أوم ومقاومة التوليد = $11^2/250$ = 0.485 أوم وبالتالي يصبح بالقيمة

التيار=6350/(0.485+0,24)=6350 / 0.735 = 8800 أ (4-5)

لكن المقنن العملي القياسي لا يمكن أن يزيد عن يزيد عن 6.8 ك. أ. لأن القيمة الدنيا للقدرة في الشبكة في حالات القصر هي 130 م. ف. أ. بينما القصوى هي 250 ولذلك لا يجوز النزول عن قيمة التيار الأدنى وهو المحدد عالية ويصبح هو القيمة بدلا من 8.8 ك. أ. ذلك لأن القاعدة في حساب هذه القيمة يعتمد علي:

1- لا يمكن أن نقارن بين نقطتين متجاورتين للخطأ مثل النقطتين F_1 و F_2 لأن الفرق بينهما لا يتعدى 1 % أو أقل.
2- يقع مقنن الخطأ للمنبع بين 130 و 250 م. ف. أ. وعلي هذا يكون التيار غير صحيح للتمييز بين النقطتين B & C بينما يكون سليم بين النقطتين C & D (الشكل رقم 5-2).



الشكل رقم 5-2 : الرسم الخطي لشبكة محورية مع أوضاع خطأ متعددة

لحساب الضبط اللازم عند حالة F_4 نجد أن

التيار=6350/مجموع مقاومات المولد والخط وخط المحول والمحول (5-4)

أما عن المقاومات فمقاومة المولد محددة من قبل ومقاومتي الخطين هما 0.24 و 0.04 أما مقاومة المحول فهي:

مقاومة المحول={ (11 ك. ف.)^2 / 4 م. ف. أ. }7 % = 2.12 أوم (5-5)

بذلك نحصل علي التيار بقيمته

التيار = 6350 / 2.885 = 2200 أ (5-6)

يجب أن يوضع في الاعتبار قيمة الضبط الأمثل اللازم إضافته إلي قيمة التيار المحسوب عند الضبط والذي عادة يفرض في حدود 20 % لتغطية أية أخطاء من تشغيل المتمم وكذلك10 % للتغير الناتج في مقاومات الشبكة ككل ويكون التيار اللازم للضبط هو

تيار الضبط لقيمة الفصل = (120 + 110) % × التيار المحسوب = 1.3 × التيار المحسوب (5-7)

بالنسبة للنقطة F_3 فنحصل علي التيار في الشكل

التيار=6350/(0.04+0.24+0.485)= 8.3 ك.أ (5-8)

لكن بتقييم التيار المقنن للمنبع وهو 130 م. ف. أ. نجد القيمة قد أصبحت

الشكل رقم 5-3 : خصائص الفصل في شبكة محورية

التيار=6350/(0.04+0.24 +0.93)=5.25 ك.أ (5-9)

مما سبق نجد أنه من الأساس لا بد وأن نتعامل مع التمييز المشترك بين كلا من الزمن والتيار لتحقيق الفصل المناسب وهو ما سبق بيانه من حالات تغير زمني مع مراعاة أن يكون التشغيل لكل متمم أن يتم قبل الآخر كما هو مبين في الشكل رقم 5-3 فنجد أن المتمم للشبكة في الشكل رقم 5-1 يعتمد علي العمل بطريقة الفصل العكسي مع قيمة التيار كما أن الزمن دائما سابقا بالنسبة للمصهر في نهاية الشبكة.

هكذا نتعامل مع متمم زيادة التيار علي محاور متعددة حيث يعطي الشكل رقم 5-4 الرسم الثلاثي لمتمم زيادة التيار علي الثلاث أوجه مبينا كيفية الأداء بكل منهم حيث يتم حساب كل تيار في كل وجه ثم يعطي الأمر للوجه الذي قد

الشكل رقم 5-4 : الرسم الثلاثي لتوصيل متممات زيادة تيار

يكون عليه القصر أي زيادة تيار ويتم الفصل بزمن عمل المتمم فقط وإما أن يكون فوريا أو محددا زمن الفصل أو محددا لقيمة التيار وهنا أيضا من السهل معرفة أي الأوجه به خطأ.

نري كيفية التحكم في الفصل الزمني من خلال إضافة متمم زمني في الدائرة هذه علي التوالي كما في الشكل رقم 5-5 ومنها نجد إضافة لمتمم زمني timer له الخواص المطلوبة مثل تلك المبينة في الشكل رقم 5-3، أو غيرها من الصفات الأخرى المتاحة، ويكون العمل هنا أن يأخذ أحد أطراف ملف المتمم الزمني الجهد علي التوازي مثل الموجب أو السالب وفي الرسم تحدد القطب الموجب بينما الطرف الثاني يعتمد علي التيار المار في المتمم السابق، وهو أي من متمم من متممات زيادة التيار وعلي أي من الأوجه الثلاث، وإذا ما وصل التيار إلي القيمة المحددة للعمل يقفل ملمسه فيصل الجهد علي طرفي متمم الزمن كي يعطي الأمر إلي متمم مساعد *auxiliary relay* والذي يظهر عليه الجهد بالمثل كما حدث مع المتمم المساعد أي ملمس المتمم المساعد يكمل وجود الجهد علي هذا الملف الجديد فيغلق ملمسه وهو المتصل بملف الفصل tripping coil علي التوالي فيصل الجهد علي طرفي ملف الفصل الخاص بالقاطع الرئيسي بالدائرة الابتدائية.

متمم مساعد (-) متمم زمني (+) (+)

C B A

الشكل رقم 5-5 : الرسم الثلاثي للفصل الزمني

لمزيد من الشرح نأخذ تأثير محولات التيار علي شبكة محورية أيضا كما جاءت في الشكل رقم 5-6 وعليها محولات التيار وكل البيانات الخاصة بالرسم جاءت ملخصة في الجدول رقم 5-1.

أما بالنسبة لتأثيرات محولات التيار فيمكننا حسابها كما هو موضحا في الجدول رقم 5-2 حيث نبدأ من طرف نهاية التوزيع أي عند الأحمال تحت الحماية بواسطة المصهر وهنا نتقابل مع نوعين من المقننات للمصهر أو أكثر وعلينا أن نحتار القدرة الأعلى للمصهر

الشكل رقم 5-6 : الرسم الخطي لشبكة محورية لتوزيع الأحمال

ليكون هو المرجع لنا عند عمل التمييز للفصل وبناء على هذا نضع المصهر 200 أ المرجع مع إهمال المصهر 150 أ لأن الأول يتحمل العبء الأكبر وله التيار الأعلي، ومن ثم ننطلق لتحديد مقننات المتممات بعد ذلك خطوة بخطوة في اتجاه المولد ذاته.

نجد أ القدرة عند القضبان D علي مستوي الجهد 3.3 ك. ف. تمثل 3.26 ك. أ. بينما تصبح 1.88 ك. أ. عند 11 ك. ف. وتعطي القراءات القياسية أن 0.2 ثانية كزمن قياسي لها ليصبح بعد المصهر في الخواص وعند القضبان C بمستوي قصر 98.7 م. ف. أ. أي علي جهتي المحول تصبح 17.28 ك. أ. بجهد 3.3 ك. ف. أو 5.18 ك. أ. عند 11 ك. ف. وتعطي الزمن القياسي وهو 0.7 نقطة ضبط للزمن بالثانية.

الجدول رقم 5-1: بيانات الشبكة المحورية

الجزء	المقننات	القيمة للمرجع 10 م. ف. أ.	%
المولد	132 ك. ف، 3500 م. ف. أ، 1Ω	3500 / (10 × 100)	29
خط جهد عالي	15 كم و 6.2Ω	132^2 /(10× 100× 6.2)	36
محول جهد عالي	30 م.ف.أ. 11/132ك.ف.، 22.5 %	30 / (10× 22)	7.5
الكابل	11 ك. ف. 2 كم 0.24Ω	11^2 / (10 × 100× 0.24)	1.98
كابل توزيع	11 ك. ف. 200 م 0.04Ω	11^2 /(10 × 100 × 0.04)	0.33
محول توزيع	4 م. ف. أ. ، 3.3/11 ك.ف. 7 %	4 / (10 × 7)	17.5

من الجهة الأخري نجد أنه عند القضبان A فيجب أن تكون الخواص الزمنية للمتمم من الطراز شديد العكسية ومن ثم نحصل علي الحدود الدنيا والقصوى علي النحو المبين في الجدول رقم 5-3 حيث تتحدد القيمة الدنيا بالأعلى السابقة حتى لا يحدث في وقت ما أن تتداخل خصائص الفصل والتي تأخذ الشكل القياسي الموضح في الرسم للمنحنيات المحددة لخصائص المتممات المتتالي في الشكل رقم 5-3.

الجدول رقم 5-2: البيانات الناتجة لشبكة التوزيع

قضبان	محول التيار	حساب مستوي القصر (MVA)	مستوي القصر	الزمن (ث)
A	1/500	(0.29)/(10× 100)	3500	0.25
A	1/500	(0.36+0.29)/(10× 100)	1540	0.25
B	1/150	(0.36+0.29)/(10× 100)	123	0.07
C	5/500	(7.5+ 0.36+0.29)/(10 × 100)	98.7	0.33
D	5/250	(1.98+7.5+0.36+0.29)/(10×100)	35.7	0.07
E	مصهر	+1.98+7.5+0.36+0.29)/(10×100) (17.5+0.33	3.26 1.88	0.2

الجدول رقم 5-3: حدود القصر في شبكة التوزيع المحورية

قضبان	قدرة القصر MVA (أدنى / أقصى)	زمن الفصل القياسي (ث)
A	3500 / 1450	0.25 /0.39
B	1450 / 123	0.07 / 0.86
C	123 / 98.7	0.33 / 0.42
D	98.7 / 35.7	0.07 / 0.17

هكذا يظهر أن الحد الأدني للقضبان السابق كقدرة قصر هو الأدنى لنا وبذلك يتحدد كل ما جاء في الجدول رقم 5-3 ويضاف إلي ذلك مدى التدرج وهو ما يحتوي علي أربعة أنواع مؤثرة وجميعها هاما وهي:

1- زمن فصل القاطع T_{CB} حيث يلزم التأكد الفعلي من تمام الفصل للقاطع المنوط قبل اتخاذ القرار الفعلي لإجراء الفصل الفعلي بالمتمم التالي.

2- الخطأ المتوقع في ضبط زمن المتمم E_R ويقدر الخطأ عمومات بنسبة مئوية وهو ذلك الخطأ أو تلك الأخطاء التي تحدث عادة في جميع أجهزة القياس بما في ذلك محولات القياس وخصوصا محولات التيار E_{CT} ويقدر أيضا بالنسبة المئوية وهو ما يمكن أن يكون موجبا أو سالبا ولذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار ذلك بالنسبة لزمن التشغيل العادي الخاص بالمتمم المنوط به الفصل T.

3- مدي زمن تكملة عملية الفصل الآمن t_{CB} (بوحدات الثانية) وهو الزمن المضاف كي نضمن من فصل الإجراء عن ما يليه وهو ما سبق الكلام عنه في النقطة السابقة لحماية زيادة التيار.

4- زمن حركة المتمم t_o المسمى overshoot وهو ما قد يحدث من المتمم عند إلغاء الأمر إذا ما كان المتمم السابق قام بعمله كاملا ويكمل جزءا بسيطا من المشوار بالرغم من إلغائه وقد تكون النتيجة الفصل غير المطلوب هندسيا نتيجة العزم الذاتي (التلقائي) أو بخصائص أجزاء الجهاز الحركي داخل المتمم mechanism ولذلك يجب إبعاد الضبط عن هذه الاحتمالات بأن يضاف زمنا يقابل هذه الاحتمالات ويمنع ظهور تأثيرها إذا ما حدث ذلك فعلا.

من الخبرة العملية يمكن الحصول علي ضبط الزمن المناسب للفصل t بالصيغة:

$$t = [(2E_R+E_{CT})/100]\, T + t_{CB} + t_o + t_s \qquad (5\text{-}10)$$

تختلي قيمة الخطأ في محول التيار E_{CT} نتيجة الاعتماد علي المتممات ذات استقلالية زمن الفصل المتأخر المحدد والتي تعرف باسم independent definite time delay وبهذا الأسلوب نصل إلي أن العلاقة بين التيار والزمن ليست منحنى واحد بل تتحرك بين منحنيين كما نشاهده في الشكل رقم 5- 7 حيث يظهر الحد الأقصى وكذلك الأدنى نتيجة هذه التغيرات في قيمة الزمن تبعا للمعادلة رقم 5-7.



الشكل رقم 5-7 : العلاقة العملية الفعلية لخواص المتممات العكسية

إذا ما كانت محولات التيار في شبكة توزيع محورية بذات الخصائص ونفس النسبة نرى أن هذه المنحنيات المتتالية تأخذ نفس الشكل بمدى فرق ثابت علي طول العلاقة بينما عند اختلاف أي من هذه المحولات نري أن المنحنيات المتتالية تتباين في قيمة الفرق بين كل منهم والتالي له (الشكل رقم 5-8) إضافة إلي أن المدى بين المنحنيات لا يهمل عند وضع التتابع الزمني لخصائص الفصل، أي أنه يلزم وضع زمن فاصل بين أقرب خصائص أدني من أعلي التالي والمجاور له في الخصائص، وهو الموضح علي الرسم.

التدرج الزمني للفصل في شبكات التوزيع يعتمد علي مقاومة كل جزء بجانب نوعية كل متمم لزيادة التيار ومحولات التيار أيضا وعندئذ للمتممات سواء كانت تلك العكسية أو شديدة العكسية very

inverse أو محددة الزمن أو المحددة لأقل زمن فصل inverse definite minimum time حيث أن ذلك يحدد أقل مدي مسموح للتدرج الزمني كما في المعادلة 5- 10 وهو ما يجب وضعه في الاعتبار عند الضبط.

عند تداخل المتممات مع المصهر أو العكس فقد تبينا حالة المصهر في النهاية الطرفية للشبكة ولذلك ندرس الحالة المغايرة وهو كما معطي في الشكل رقم 5-9 وفيها يستخدم متمم واحد علي محول تيار بينما قبله مصهر 75 أ جهد 11 ك. ف. وبعده كذلك مصهر 250 أ جهد 440 ف وبقدرة قصر قصوى قدرها 12 ك. أ.

تصبح الخواص كما في الشكل رقم 5-10 بينما يعطي الشكل رقم 5-11 المنظر العام للخواص لكل من أنواع المتممات المختلفة من المتممات الكهروديناميكة المختلفة وفي الشكل رقم 5-12 جاءت أهم الخصائص للمتممات الاستاتيكية.

الشكل رقم 5-8 : تأثير محولات التيار علي خصائص الفصل

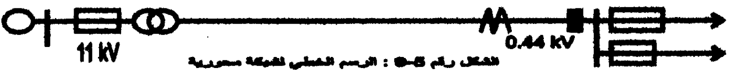
نحدد العلاقات الرياضية للمتمم بالصفات العكسية القياسية المعتادة standard inverse وهي التي تتبع المعادلة:

$$t = 0.14 / (I^{0.12} - 1) \qquad (5\text{-}11)$$

قيمة الأس قد تتغير بدءا من 0.12 إلي 0.02 أما بالنسبة للمتمم شديد العكسية very inverse تكون العلاقة هي

$$t = 13.5 / (I - 1) \qquad (5\text{-}12)$$

أما بالنسبة للمتمم حاد العكسية extremely inverse فتأخذ الصيغة



الشكل رقم 5-9 : الرسم الخطي لشبكة محورية

$$t = 80 / (I^2 - 1) \qquad (5\text{-}13)$$

بالنسبة للمتمم طويل المدى long time standby فينخفض معامل الحدة ونحصل علي

$$t = 120 / (I - 1) \qquad (5\text{-}14)$$

في جميع الأحوال يجب أن يتحدد زمن ثابت لضبط المتمم واعتبار الخطأ فيه موجب من ناحية وسالب من الأخرى ولا يجب أن يزيد الخطأ عن 7.5 % من الزمن الفعلي للفصل، ويشير الرسم إلي أن المتممات الديناميكية قد تختلف في نوعية الفصل حيث يكون محدد القيمة بالنسبة للمتممات الاستاتيكية.

الشكل رقم 5-10 : صفات الفصل الزمني في الشبكة

الشكل رقم 5-11 : خصائص المتممات الكهرودينامكية

الشكل رقم 5-12 : خصائص المتممات الإستاتيكية

ثانيا: التيار الأرضي
Earth Current

متمم التيار الصفري (الأرضي) من أهم أنواع الوقاية الأساسية سواء في الشبكات الكهربية أو في شبكات التوزيع والأبنية المنزلية أوالصناعية نتيجة أنه يقوم علي قياس نوعين مختلفين من التيارات وهي تيارات لها تأثيرات ضارة علي الإنسان والأجهزة والمعدات:

النوع الأول: متمم التيارات المتبقية residual currents

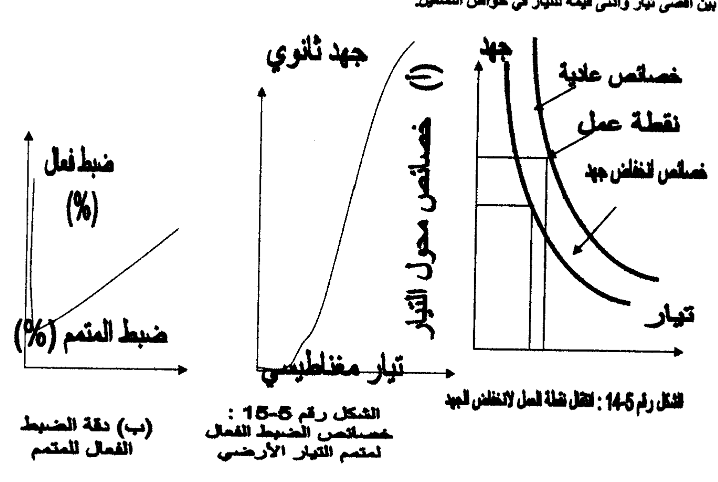
هذا النوع يقيس التيارات المتبقية المعبرة عن التيار المار إلي الأرض أثناء حدوث الخطأ fault وهو لا يتأثر بتيارات الأوجه حيث تستخدم المتمم R في الدائرة المبينة بالشكل رقم 5-13حيث أن الأكثر شيوعا تطبيقا (في الميدان العملي) هي تلك الدائرة في الشكل 5-13(ج) حيث يتم توفير متمم من الدائرة (تقليل عدد المتممات بواحد) وتعطي نفس الكفاءة والأداء كاملين، ولكن هذا النوع من المتممات التي تتميز بالقدرة علي تحديد ما إذا كانت هذه التيارات متماثلة balanced أم لا ولهذا يتم ضبط المتمم عند حدود معينة لعدم اتزان الشبكة وهي عادة تأخذ نسبة ضئيلة من التيارات القصوى للحمل إضافة إلي أن التيارات المتسربة إلي الأرض لا بد وأن تضاف إلي التيارات المتبقية عند الضبط. كما يمكن ضبط متمم التيار الأرضي علي مستوى منخفض لأنه دائما ما تكون الأخطاء مرتبطة بالأرض وهي تعتمد في نفس الوقت علي نظم اتصال نقطة التعادل neutral للشبكات الكهربية مع الأرض.

هناك بعض التأثيرات التي تربط كلا من تيارات الأوجه وتيار الأرضي والتي تتناول خصائص محولات التيار ولذلك يجب أن يدخل في دائرة قياس التيار الأرضي محولات تيار أكبر عن تلك اللازمة لتيارات الزيادة في القيمة نتيجة القصر والسابق الحديث عنها، كما لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل أن الجهد العامل علي الشبكة ينخفض بشدة مما ينقل نقطة العمل operating point بالنسبة لمحولات التيار إلي مستوي منخفض عن مثيله العامل عند الجهد المقنن ويزيد هذا التأثير عند انخفاض الجهد عليه والدوائر المتصلة علي التوازي معه (الشكل 5-14). نضيف أيضا أن تراكم الفقد في التيار المغناطيسي بمحول التيار بدائرة متمم تيار الأرضي وبتلك المجاورة له والمتصلة علي التوازي قد يصل فيها مجموع الفقد المغناطيسي بنقطة العمل إلي حد بعيد عن تلك الحقيقية خصوصا مع الضبط للتيار I_s والجهد Vs حيث تكون العلاقة الرياضية بينها تابعة للمعادلة

$$\text{effective } I_s = \text{relay } I_s + \text{total exciting current} \quad (5\text{-}15)$$

يكون هذا المجموع بالمتجهات vectors بالنسبة للمتممات الاستاتيكية بينما يقرب إلي جمع جبري مع المتممات الكهروديناميكية لقرب معامل القدرة فيها من الوحدة ويعبر الجدول رقم 5-4 عن دقة ضبط متمم قياس تيار الأرضي وعلاقته مع التيار المغناطيسي I_e المستهلك بمحول التيار، لهذا نتعامل مع تيار الأرضي الذي يساوي مجموع التيارات بالأطوار الثلاثة في الشبكة الكهربية الفعلية العاملة. بالنسبة لتدرج الفصل الزمني لتيارات الأرضي تتبع نفس القواعد الخاصة بمتممات زيادة التيار مع الأخذ في الاعتبار أن الخطأ الناتج عن انخفاض الجهد والفقد في محولات التيار المتوازية معه كهربيا تزيد من الفارق بين أقصى تيار وأدنى قيمة للتيار في خواص التشغيل.

الشكل رقم 5-13 : أشكال دائرة الوقاية لقياس التيار المتبقي



الشكل رقم 5-14 : انتقال نقطة العمل لانخفاض الجهد

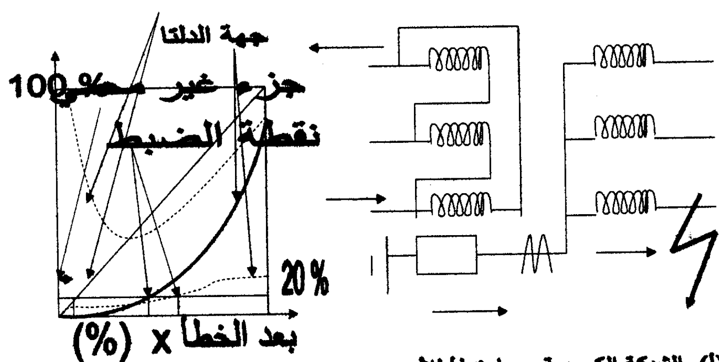
الشكل رقم 5-15 : خصائص الضبط الفعال لمتمم التيار الأرضي

(ب) دقة الضبط الفعال للمتمم

يقدم الشكل 5-15 تأثير التيار المغناطيسي على ضبط متمم التيار الأرضي وعلاقته بالجهد الثانوي بالدائرة.

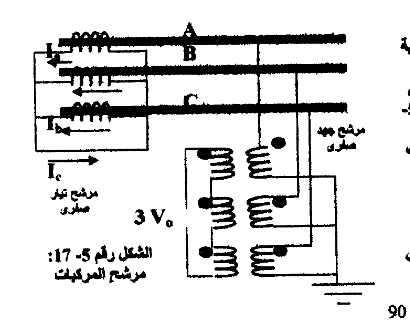
الجدول رقم 5-4: الضبط الفعال لمتمم تيار الأرضي

ضبط فعال (%)	تيار فعال (أ)	$3I_e$ (أ)	I_e (أ)	ضبط جهد(ف)	ضبط تيار(%)	تيار (أ)
40	2	1.75	0.58	12	5	0.25
34.3	1.715	1.215	0.4	6	10	0.5
33	1.66	0.9	0.3	4	15	0.75
36	1.81	0.81	0.27	3	20	1
50	3.51	0.51	0.17	1.5	40	2
67	3.36	0.36	0.12	1	60	3
86	4.3	0.3	0.1	0.75	80	4
105	5.24	0.24	0.08	0.6	100	5



(أ) الشبكة الكهربية وبها خطأ للأرض
(ب) خصائص الضبط لنسبة التيار

الشكل رقم 5-16 : قياس مباشر للتيار الأرضي



الشكل رقم 5- 17: مرشح المركبات

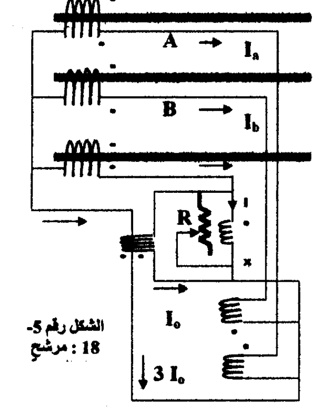
توضح هذه الخصائص إلي ضرورة وضع هذه الصفات غير الخطية في الاعتبار عند الضبط وأن العملية الفعلية لا تتوقف علي حساب التيار فقط بل علي أزمنة الفصل وضبطها لتلافي العيوب الفنية في طبيعة عمل الأجهزة الداخلة في دائرة الوقاية، ويبين الشكل رقم 5-16 أن التيار الأرضي يعتمد علي مكان الخطأ وكذلك قيمة مقاومة الخطأ والتي تدخل في الاعتبار في قيمة التيار مسبب الفصل وكذلك تؤثر قيمة مقاومة الأرضي بين مقاومة التعادل والدائرة المكافئة للأرض ذاتها علي نسبة الجزء غير المحمي من المحول بطريقة التيار الأرضي، كما يظهر أن طريقة قياس تيار الأرضي إما أن تعتمد علي مجموع التيارات في الأوجه الثلاثة مثل الشكل رقم 5-16 (أ) أو الشكل 5-13 علي القياس المباشر لقيمة التيار المار إلي الأرض مثل الشكل رقم 5-16. أيضا تشير العلاقات بالخط غير

المتقطع عن حالة وجود مقاومة بين نقطة التعادل والأرض بينما تبين الخطوط المتقطعة حالة التوصيل المباشر بين نقطة التعادل والأرض ويظهر من الرسم أن التيار الأرضي يتناسب مع كلا من مقاومة الأرضي والبعد عن موقع المتمم الأرضي.

مثال 5- 1:

حمل قدرة 10 MVA ، 12 kV لا يسمح بتغير أكثر من 10 % من المركبة الصفرية للتيار ومن المفروض أن يخرج من الخدمة إذا ما وصلت قيمته خارج هذه الحدود. المطلوب تصميم مرشح تيار صفري للبحث عن هذا الوضع.

الحل:



الشكل رقم 5-18 : مرشح

$$I_{rated} = \frac{10}{0.12 \sqrt{3}} = 481 \ A$$

$$I_{omax} = 48.1 \ A$$

نختار محول تيار بنسبة 500 / A5 وباستخدام الدائرة المبينة عند I_{omax} يكون خرج المرشح هو 3 (0.481)= 1.443 A ونختار متمم زيادة تيار يكون له قيمة اللقط هي 1.4 A .

$$I_o = (1/3)\,(I_a+I_b+I_c)$$

$$(I_a+I_b+I_c) = 3 I_o$$

$$V_o = (1/3)\,(V_a+V_b+V_c)$$

$$(V_a+V_b+V_c) = 3V_o$$

الملفات لها قيمة حثية متبادلة بقيمة $X_{ac}=X_{bc}=X$ ولها الحث الذاتي بقيمة $X_s = k X$ وللضبط نضع أميتر بدلا من المتمم ومع استخدام المقاومة النقية R يمكن ضبط القراءة صفر مع المركبة الموجبة للتيار عن طريق تغيير قيمة المقاومة النقية وعندئذ يكون التوازن في الدائرة تابعا للمعادلة

$$I_c R = j I_a X - j I_b X \, , \, R = X$$

يظهر من ذلك أن المتمم لو أعيد مكانه لن يقرأ أية قراءة سوى الصفر مادام التيار هو المركبة الموجبة فقط ومن الدائرة نحصل على المعادلات التي تخص التيار ثلاثي الطور في الشكل:

$$(I_c - I_o - I) R = j I_a X - j I_b X + j I k X$$

أي أن

$$(I_o + a I_1 + a^2 I_2 - I_o - I) \sqrt{3} X = j X (I_o + I_1 + I_2 - I_o - a I_2 - a^2 I_1) + j I k X$$

$$\sqrt{3} (a I_1 + a^2 I_2 - I) = j (1 - a^2) I_1 + j (1 - a) I_2 + j I k$$

حيث أن

$$\sqrt{3} a = j (1 - a^2) \ \& \ \sqrt{3} a^2 I_2 - \sqrt{3} I = j (1 - a) I_2 + j I k$$

وكذلك أن

$$\sqrt{3} a^2 - j (1 - a) = 2 \sqrt{3} a^2 \ \& \ (\sqrt{3} - j k) I = 2 \sqrt{3} a^2 I_2 j (1 - a) I + j k$$

ثم نجد أن

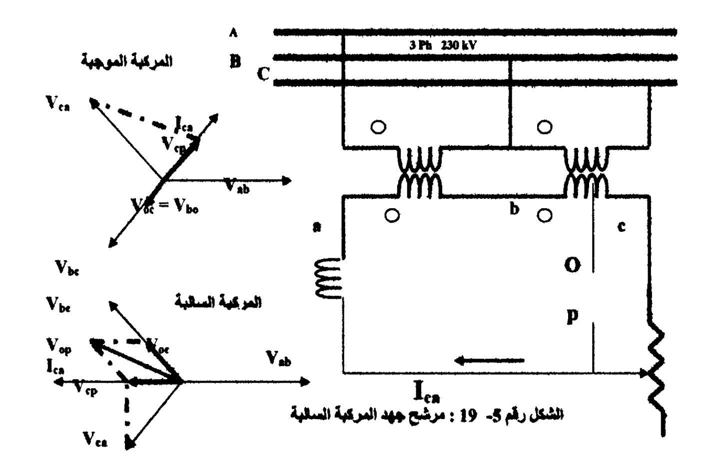
$$I = [(2 \sqrt{3} a^2)/(\sqrt{3} + j k)] I_2$$

هذا يعني أن مرور تيار في القطعة xy سوف يكون نتيجة المركبة السالبة ومن ثم يتم وضع المتمم في هذا المكان ليكون حساسا للتيار من المركبة السالبة

$$V_{an} = V_{bn} = V_{cn} = V_o$$

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = 0$$

$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = 0$
$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = 0$

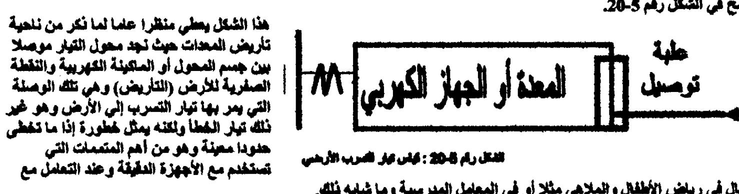


الشكل رقم 5- 19 : مرشح جهد المركبة السالبة

$$V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = V_1 \sqrt{3}$$

النوع الثاني: متمم تيارات التسرب للأرض *Earth Leakage currents*

يختلف هذا النوع من التيارات عن تلك السابقة لأن التيارات المتسربة إلي الأرض تعتمد علي ما يسمى باسم جهد التلامس touch voltage ولذلك نجد هذا النوع قد يسمى تيار التسرب من الأجسام المعدنية إلي الأرض Frame Leakage Current كما هو موضح في الشكل رقم 5-20.



الشكل رقم 5-20 : قياس تيار التسرب الأرضي

هذا الشكل يعطي منظرا عاما لما ذكر من ناحية تأريض المعدات حيث نجد محول التيار موصلا بين جسم المحول أو الماكينة الكهربية والنقطة الصفرية للأرض (التأريض) وهي تلك الوصلة التي يمر بها تيار التسرب إلي الأرض وهو غير ذلك تيار الخطأ ولكنه يمثل خطورة إذا ما تخطى حدودا معينة وهو من أهم المتممات التي تستخدم مع الأجهزة الدقيقة وعند التعامل مع الأطفال في رياض الأطفال والملاهي مثلا أو في المعامل المدرسية وما شابه ذلك.

هكذا تتباين هذه الدائرة عن تلك السابقة والخاصة بمتممات زيادة التيار وعن قياس تيار الأرضي من حيث الجوهر وهي بذلك تكون لها حدودا فنية كما تعتمد أغلب التقنيات المستعان بها في هذا الصدد علي أسلوب المتممات التفاضلي وهو ما سوف نراه فيما بعد من هذا الفصل بشيء أكثر من التفصيل والتوضيح، ويعطي الجدول رقم 5-5 بيانا بقيمة التيار المتسرب إلي الأرض تبعا لقيمة مقاومة التأريض.

الأجهزة الكهربية المعتادة ذات مستوي منخفض فنجد تيار التسرب لجهاز الفاكس يتراوح بين 0.5 و 1 ميلي أمبير بينما للطابعة أكبر من 1 والحاسب الإلكتروني بين 2 و 1 وآلة تصوير المستندات بين 1.5 و 0.5 ميلي أمبير وعلينا للضرورة أن نضع بعض الرموز الهامة والتي تتعلق بهذه المتممات من حيث تأثير البيئة الخارجية عليها أو تأثير تلك الملحقات بالدائرة علي النحو الوارد بالجدول 5-6 علي سبيل المثال. التلامس غير المباشر مع الأجسام المعدنية قد يظهر أكثر مع دوائر التوزيع الكهربي في المخارج حتى 32 أ والمنشآت

عموما وتلك المؤقتة على وجه الخصوص وكذلك الحمامات وبالخصوص حمامات السباحة وفي المنشآت الزراعية ومع الكابلات والمغذيات وفي شبكات التدفئة والتكييف المنزلية والمكتبية في الحالتين سواء تلك الأجهزة داخل الحائط أو المرور داخل التربة الأرضية.

الجدول رقم 5-5: مقننات التيار المتسرب تبعا للقيمة القياسية

مستوى الحساسية	تيار التسرب (أ)	المقاومة (أوم)
منخفضة	20 10 5 3	2.5 5 10 17
متوسطة	1 0.5 0.3 0.1	50 100 167 500
عالية	0.03 0.012 0.006	أكبر من 500

نستطيع هنا إضافة أسلوبا مشتركا بين الجهد والتيار للبحث عن الأخطاء في قيمة التيارات المتسربة إلى الأرض بالاستعانة بمحول جهد، كما نشاهد في الشكل رقم 5-21 (أ) أو أسلوب الإحساس بهذا الخطأ مع المهيج الخاص بالمولدات كما نراه في الشكل 5-21(ب). هناك العديد من التطبيقات الفعلية لمثل هذا الأسلوب مع إدخال مقاومات للضبط والاتزان في دائرة الوقاية المخصصة للوقاية من الخطأ إلى الأرض توصيلا.

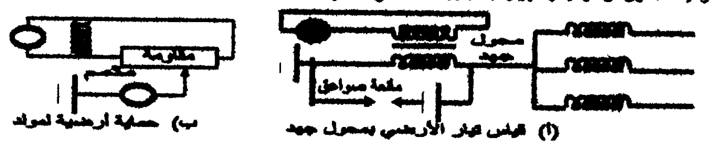
تتأثر الطرق المختلفة بأسلوب التأريض للشبكة ذات الجهد العالي وبقيمة المقاومة بين نقطة التعادل والمستوى الصفري للجهد الأرضي وهو ما يجعل هذه الأعمال معقدة عند الحساب بل ويتجه التطبيق نحو وضع قواعد معاملات الزحزحة في التصميم وهو ما يعرف في بعض التصميمات بمعامل الأمان.

الجدول رقم 5-6: بيان ببعض الرموز الهامة الخاصة بخصائص المتممات

الرمز	بيان الخصائص
	عدم تأثير عوامل الشوشرة الخارجية على المتمم
	يستخدم مع دوائر التيار المتردد (Class AC)
	يستخدم مع دوائر التيار المتردد والتي تحتوي أحيانا على النبضات لتيار مستمر من جراء تواجد أجهزة إلكترونية مثل الموحدات ومغيرات السرعة الإلكترونية وغيرهم (Class A)
	مثل النوع السابق ولكن مع الدوائر التي تحتوي على مركبة تيار مستمر بصفة مستمرة (Class B)

ثالثا: الحمل الزائد (تجاوز الحمل) Over Load

تلعب الطاقة الحرارية الدور الأعظم في الوقاية من الأحمال المرتفعة أو تجاوزاتها والمعروفة باسم الحمل الزائد وعادة ما يكون التصميم الأصلي قواعد للتعامل مع هذه المقننات ولذلك فأي معدة أو جهاز كهربي يتحمل المقنن الكامل للحمل لمدة تشغيل مستمرة دون انقطاع بينما إذا ما زاد الحمل عن المقنن نكون قد خرجنا عن الحدود الصحيحة للتشغيل ولكنه بالرغم من ذلك نجد أن أي معدة من هذه المعدات تكون قادرة على التشغيل عند حمل أكبر من ذلك المقنن الكامل ولكن لمدة زمنية محددة أقل وكلما ارتفعت قيمة الحمل كلما قلت الفترة الزمنية المسموح فيها بالتشغيل بدرجة عكسية شديدة الطابع ولذلك نجد أن مثل هذا النوع من الوقاية هام لجميع المعدات الكهربية بلا استثناء على عكس تلك المسماة زيادة التيار أو التسرب الأرضي وهذا نراه مؤكدا عند التعامل على جهد التوزيع حيث قد تختفي النوعيات الأخرى من الوقاية وتظهر وقاية تجاوز الحمل كنوع أساسي من الوقاية التلقائية في هذه الحالات.



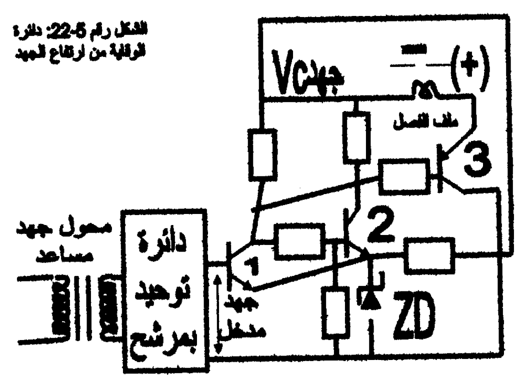
الشكل رقم 5-21 : طرق أخرى لقياس تيار الأرضي

تعتمد الفكرة الفنية علي المزدوج الحراري والمكون من معدنين مختلفي معامل التمدد وبالتالي مع التحرك الحراري يتمدد أحدهما بقدر مخالف للآخر فيسبب الحركة الديناميكية المسببة لتلامس الأطراف وبالتالي يؤدي إلي الفصل. هذا ونجد أن درجة الحرارة قد ترتفع إما عن توقف وسائل التبريد أو جزء منها أو بتحميل الملفات بتيار فوق المقنن وهو المعروف باسم الحمل الزائد أو تجاوز الحمل، ونستطيع تحديد قياس الحرارة بوضع ترمومتر في أحد الفتحات المتاحة مع الملفات أو مع دائرة التبريد وقد تعمل بذلك عن طريق دائرة الحمل المتجاوز علي فصل الدائرة الرئيسية عن بقية الشبكة حماية لها من الارتفاع الحراري المتزايد زمنيا وبطريقة عكسية مع الزمن كما سبق شرحه من قبل.

2-5: حماية الجهد Voltage Protection

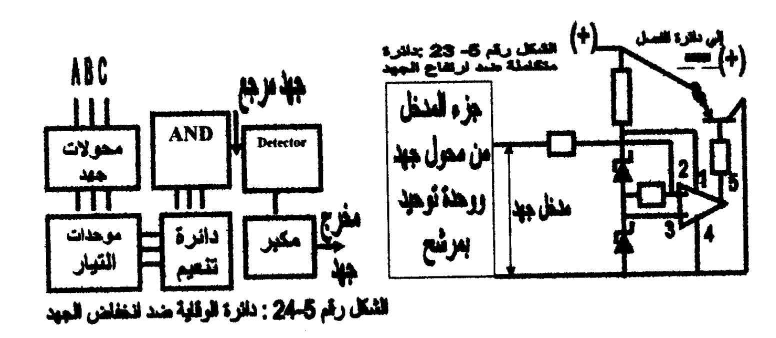
يختلف الجهد عن التيار من وجهة نظر الحماية لأن النقص في التيار لا يسبب أية خطورة بينما يظهر الخطر مع زيادة التيار ولذلك وجدنا أن الوقاية ضد زيادة التيار هي التي جاءت في البند السابق، أما بالنسبة للجهد فزيادته تمثل خطورة علي العزل الموجود تحت التشغيل وهو خطر كبير ولكن الاختلاف يظهر عند انخفاض الجهد عن حد معين والذي يضع نقاط التشغيل في مكان مختلف أو في وضع رديء فيحدث الخلل في تشغيل الشبكة ومن ثم تمثل خطورة عليها ولهذا السبب نحتاج إلي وقاية الشبكة من هذه الحالة وهكذا سوف نتناول فيما يلي موضوعي تغير الجهد سواء بالزيادة أو النقص.

أولا: ارتفاع الجهد Over Voltage



الشكل رقم 5-22: دائرة الوقاية من ارتفاع الجهد

الوقاية ضد ارتفاع الجهد عن الحد المقنن nominal يمثل الضرر البالغ خصوصا علي العزل الكهربي ومن ثم وجب التخلص من هذا الجزء المسبب ارتفاعا في الجهد كي تعود الشبكة إلي حالة الاستقرار في التشغيل وتستمر التغذية للمواقع المختلفة ويعطي الشكل رقم 5-22 دائرة شميث المطبوعة Schmitt Trigger والمكونة من الترانزيستور حيث يعطي لكاشف المستوي الجهد المقنن المرجعي Reference وإذا تجاوزت القيمة هذا الحد يعمل علي تشغيل المتمم خصوصا وأن المدخل هو ذات الجهد المقنن والذي يتم بالمقارنة مع الجهد القطي اللحظي من خلال زينر دايود (Ziner Diode ZD) فيعطي تيارا من الترانزيستور رقم 1 ويتحول الترانزيستور رقم 3 للتوصيل فيصل الجهد إلي ملف الفصل.

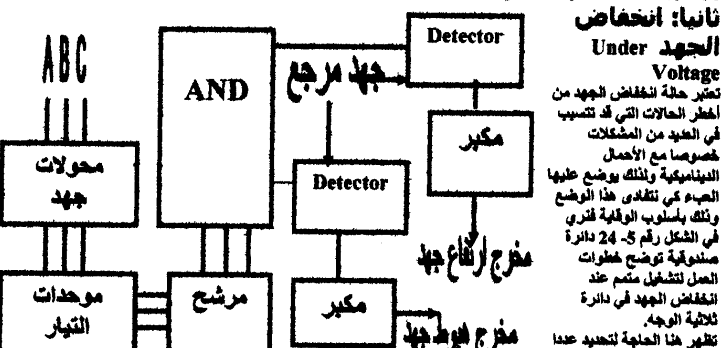


الشكل رقم 5- 23 :دائرة متكاملة ضد ارتفاع الجهد

الشكل رقم 5-24 : دائرة الوقاية ضد انخفاض الجهد

تستخدم الدوائر المتكاملة كما جاءت بشكل مبسط في الشكل رقم 5- 23 حيث جهد المرجع يظهر علي الطرف 2 للمكبر وعلي هذا لا بد وان يظهر الترانزيستور في حالة وضع عكسي وبتجاوز القيمة المرجع يصل الجهد إلي ملف الفصل.

ثانيا: انخفاض الجهد Under Voltage



الشكل رقم 5-25 : دائرة الوقاية ضد هبوط وارتفاع الجهد

تعتبر حالة انخفاض الجهد من اخطر الحالات التي قد تتسبب في العديد من المشكلات خصوصا مع الأحمال الديناميكية ولذلك يوضع عليها العبء كي نتفادى هذا الوضع وذلك بأسلوب الوقاية فنري في الشكل رقم 5- 24 دائرة صندوقية توضح خطوات العمل لتشغيل متمم عند انخفاض الجهد في دائرة ثلاثية الوجه.

تظهر هنا الحاجة لتحديد عددا من الرموز للتعامل بسهولة مع هذا النطاق التطبيقي وهي كما جدولت في الجدول رقم 5-7 طبقا لما جاء في المواصفات القياسية الدولية.

الجدول رقم 5-7: بيان بالرموز القياسية للمتممات لزيادة أو خفض الجهد

البيان التفصيلي للرمز	الرمز
متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مفتوحة	U >
متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مقفولة	U <
متمم وقاية ضد هبوط الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مفتوحة	U >
متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد	U>
متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد له حدود ضبط من 80 – 50 ف ونسبة الاستعادة 130 %	U< 50, 80V 130%

نظرا لدخول المتممات الاستاتيكية الميدان قطيا وبناء علي خصائصها المميزة يمكن أن تعمل بسهولة دائرة الوقاية ضد هبوط الجهد في نفس الوقت للوقاية من ارتفاع الجهد ويوضح هذا الشكل رقم 5-25 وفي هذه الحالة تعمل الدائرة كدائرتين بحدود الضبط المعتادة فمثلا لهبوط الجهد للمدى من 80 إلي 90 % ولارتفاع الجهد 105 – 120 من القيمة المقننة أما نسبة الاستعادة فتكون 98 – 99 % للارتفاع و 101 – 102 للهبوط وبدقة سماح 1 % عند درجة الحرارة المعتادة، نجد أن زمن التشغيل في الدوائر المتكاملة والاستاتيكية قصير (160 ميلي ثانية بقدرة بسيطة للغاية 0.2 ف. أ. / 330 ق و 4 و / 24 ف DC) كما أن هذه الدوائر تعمل بدقة في كل الحالات مثل عدم التماثل أيضا أو عند انقطاع أحد الأوجه (التشغيل علي طورين فقط).

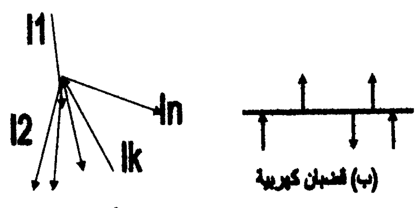
3-5: الحماية التفاضلية *Differential Protection*

انطلاقا من قانون كيرشوف المحدد بأن مجموع التيارات عند العقدة الكهربية يساوي الصفر بدأ الاعتماد علي التأكد من التيارات الداخلة ومساواتها بتلك الخارجة من عقدة معينة ثم تطور التفكير ومن ثم التطبيق كي تتبع مع القضبان الكهربية (الشكل رقم 5-26) والتي تمثل عقدة من الناحية الكهربية بالرغم من امتدادها لمسافات بطول المحطات الكهربية ثم تطور التطبيق إلي الملفات وهكذا ولذلك نضع المبادئ الخاصة بهذا الموضوع في أبسط صورة ممكنة كي تساعد علي فهم المسألة ككل وسوف نتناول هذا الجزء علي النحو التالي.

أولا: حماية العقدة بقانون التيار Current Node Performance

قانون كيرشوف للتيارات الداخلة والخارجة عند العقدة متساوية (الشكل رقم 5- 26) ونعبر عنها بالصيغة:

$$\Sigma I_{node} = 0 \qquad (5\text{-}15)$$



(أ) عقدة كهربية

الشكل رقم 26-6 : تيارات عقدة

من هذا المعنى نحصل علي أن الحالة العادية للتشغيل تعني أن قانون كيرشوف يؤكد علي سلامة التغذية من المنبع إلي المستهلك بينما عند حدوث خطأ في التوصيل أثناء التشغيل فالقانون سوف يؤكد علي وجود هذا الخطأ وبهذا نستطيع الاستفادة منه لعمل دائرة وقائية ضد الخلل في التوصيلات عند العقدة الكهربية حيث أن مجموع التيارات سوف يتساوى بدخول جزء جديد عند العقدة ونضبط هذا بأن نحصل علي مجموع التيارات العاملة عند النقطة سواء كانت تعمل في كل وقت أم لا وإذا ما حدث خلل سوف يظهر الفارق بين هذه المقارنة والتي تتم بين التيارات الداخلة والخارجة عند القصر تبعا للمعادلة الناتجة عن قانون كيرشوف أيضا:

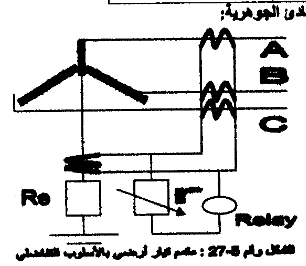
$$\Sigma \text{in currents} = \Sigma \text{out currents} \qquad (5\text{-}16)$$

متمم التيار الأرضي قد يتبع هذا النوع من المقارنة مثل ما جاء في الشكل رقم 5-27 حيث نجد أن المتمم يقارن بين مجموع تيارات الأوجه والتيار المتسرب إلي الأرض مع تواجد مقاومة للحفاظ علي فارق عدم الاتزان balance resistance الذي قد يتواجد خصوصا مع شبكات التوزيع وهذا التيار هو المعروف بقيمته التي تساوي ثلاث أضعاف قيمة تيار المركبة الصفرية I_0 وهو zero sequence current كما يعطي الجدول رقم 5-8 بيانا بمقدار التسرب التفاضلي للتيار الأرضي والمحدد قياسيا بالنسبة لضبط المتممات لبعض الأنواع المتداولة بالفعل في ميدان الوقاية الآلية في الشبكات الكهربية علي المستوي الدولي. بهذا المبدأ بدأت التطبيقات العديدة والمتنوعة في مجال الوقاية بالشبكات والمحطات والمصانع وخصوصا لحماية الأجزاء الهامة بالشبكة كما سنضع البعض الأساسي منها فيما هو آت.

الجدول رقم 5- 8: بيان بعلاقة تيار التسرب (بالملي أمبير) بالطريقة التفاضلية مع زمن الفصل

خاصية الفصل	تيار التسرب المخصص	تيار التسرب التفاضلي
زمن فصل الدائرة	6 ملي أمبير – 20 أ	0.5
زمن عدم فصل الدائرة	أكبر من 30 ملي أمبير	0.12
زمن الفصل	غير محدد	0.5

تخضع العملية التفاضلية في مجال الوقاية الآلية للشبكات الكهربية لعدد من المبادئ الجوهرية:



الشكل رقم 5-27 : متمم تيار أرضي بالأسلوب التفاضلي

1- دقة الاختيارية سواء الأفقية أو الرأسية من حيث زمن الفصل والتتابع الفعلي دون تداخل في الخصائص المحددة للأداء في دوائر الوقاية المختلفة الواقعة علي الشبكة الكهربية وتظهر أهمية ذلك بوضوح مع شبكات التوزيع الكهربية.

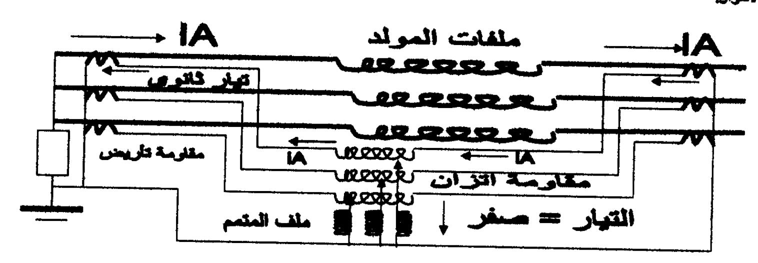
2- مقدار تيار التسرب يجب أن يقل تحت نصف القيمة عن المنطقة السابقة في الشبكة و لا بد أن يؤخذ ذلك في الإعتبار عند الضبط.

3- الضبط التام والذي يراعي تواجد أي من مانعات الصواعق في الدائرة والالتزام بتأخير الفصل لتيار التسرب عن زمن عمل مانعات الصواعق.

4- وضع عملية تشغيل المصابيح الفلورسنت المستخدمة بكثافة عالية في بعض المناطق وخاصة الصناعية كمعامل هام في ضبط متممات التسرب الأرضي حتي لا ينعكس ذلك علي دقة أداء مرحلات التسرب الأرضي.

5- تحديد مدي تيارات البدء لتشغيل المحركات في المناطق الصناعية من

الناحيتين قيمة وزمن.
6- دراسة الأحمال خصوصا مع تواجد الأحمال السعوية في الشبكة الكهربية.
7- التأكد من الظواهر الكهرو مغناطيسية والتفريغ الاستاتيكي في بعض الحالات.
يمكن تحسين مستوى الأداء للمتممات هذه بعدد من المعالجات هي:
1- رفع درجة دقة وحساسية محولات التيار المستخدمة حاليا عند أطراف المغذيات.
2- توزيع الموصلات علي الأطوار تماثليا حول نقطة التعادل.
3- التأريض الجيد لمحولات التيار منعا لتيارات التسرب الأرضي منها حتي يتم التحكم في ضبط قيمته سواء أن تزيد قيمته أو تقلله حسب الأحوال.



الشكل رقم 5- 28 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات مولد

ثانيا: حماية الملفات Winding *Protection*

تحتاج الملفات العاملة في الشبكات الكهربية بكافة أنماطها إلي العناية المركزة ضد أية أخطار قد تلحق بها نتيجة التشغيل ومن أدق أنواع الحماية للملفات تأتي الوقاية التفاضلية والتي تعتمد علي قانون التيارات لكيرشوف وهي بذلك تعتبر من أهم أنواع الوقاية للملفات علي وجه الاطلاق سواء كانت للمولدات أو المحولات أو المحركات أو الممانعات عموما وخصوصا تلك العاملة في شبكات الجهد العالي والفائق مع الخطوط الطويلة، كما أن الخطوط الكهربية قد خضعت للوقاية التفاضلية في بدايات التطبيق العملي لذلك مع الشبكات الكهربية القصيرة ولكنها تطورت فيما بعد كما سوف نتعرض له لاحقا بالشرح والتفصيل، أما بالنسبة للقضبان في المحطات فقد تعاملت مع نظام الوقاية التفاضلية بنجاح تام وهنا سوف نستعرض وقاية الملفات بشكل مسلسل في السطور القادمة وبشكل مبسط

1- وقاية ملفات المولد Generator Winding

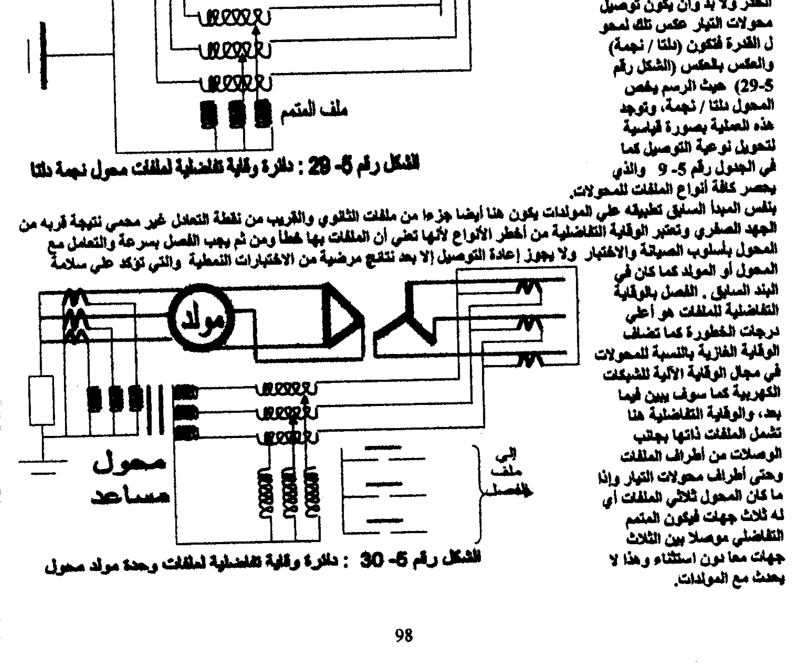
تتبع الملفات نوعا هاما ورئيسيا من الناحية التفاضلية ولذلك لا بد وأن تتواجد دائرة الوقاية التفاضلية علي ملفات المولد وذلك من أجل الحفاظ علي الملفات (الشكل رقم 5- 28) غير أن هذا النوع من الوقاية يهدر جزءا صغيرا من الملفات القريبة من جهة الأرض ونقطة التعادل ويعتمد قدره كنسبة مئوية من كل الملفات علي كلا من:
أ) قيمة ضبط التيار في المرحل المستخدم للوقاية التفاضلية
ب) قيمة المقاومة بين نقطة التعادل ونقطة الجهد الصفري بالأرض حيث نجد أن الإحساس بتواجد هذا الخطأ منعدما بالرغم من طريقة المفاصلة بين طرفي ملف كل وجه علي حدة وهذا يحدث ويكون خطيرا لأن الملف بهذا الجزء الصغير يعمل كمولد بقدرة تتقابل مع عدد اللفات التي عليها القصر.
يستقبل محول التيار قيمة التيار الموجود في الدائرة الرئيسية بنسبة التحويل الخاصة به وبالرغم من أن التيار المار في الوجه الواحد الذي يمثل دائرة توالي إلا أن قيمته قد تتغير نتيجة تيارات التسرب الناتجة عن الجهد العالي للملفات وما يتبعه من تيارات تسرب إلي الأرض Stray Currents ولهذا قد يحدث هذا الاختلاف بين القيمة المحسوسة من محول التيار في جهة الخروج عن تلك من جهة الأرض وهنا يلزم الضبط لهذه القيمة حتي لا يعمل المتمم بقوم بأداء فصلا زائفا وهذا يتم من خلال مقاومة اتزان علي كل وجه في الدائرة الثانوية ويتم الضبط عليها، إضافة إلي هذا فالتيار المار في ملف المتمم يساوي الصفر في حالة التشغيل المستقر بينما يمر التيار فيه إذا وجد فرق بين التيارين كما بالرسم.
بالنسبة للجزء المحمي من الملفات فهو كبير ولكن لا نستهين بذلك الجزء الصغير غير المحمي خصوصا إذا ما كانت المقاومة بين نقطة التعادل والأرض كبيرة ولذلك يجب أن تؤخذ في الحساب عند الضبط لما له من تأثير مباشر علي الضبط كما أن التيار الأدنى لتشغيل المتمم له تأثير أيضا، وسوف نتعامل مع هذا الموضوع من خلال المسائل في نهاية هذا الفصل بالإضافة إلي غيرها من المسائل في نهاية الكتاب بإذن الله خصوصا وأن المبتدئ من المهندسين أو الفنيين في هذا المجال لا يظن أبدا أن هناك أي جزء من الملفات غير محمي.

2- وقاية ملفات المحول Transformer Winding

الجدول رقم 5-9: بيان بتوصيل محولات التيار نسبة إلي محولات القدرة العاملة عليها

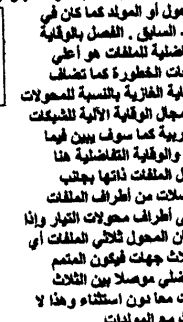
م	ملفات محول القدرة (ابتدائي / ثانوي)	ملفات محولات التيار (جهة الابتدائي/ جهة الثانوي)
1	نجمة / نجمة مؤرض	دلتا / دلتا
2	دلتا / نجمة مؤرضة	نجمة / دلتا
3	نجمة مؤرضة / دلتا	دلتا / نجمة
4	دلتا / دلتا	نجمة / نجمة
5	نجمة مؤرضة / دلتا بمحول تأريض علي الثانوي	دلتا / نجمة
6	نجمة / نجمة بملف ثالث	دلتا / دلتا

ننتقل إلي ملفات المحولات وهنا يجب الحذر من نسبة التحويل بين ملفات الجهد العالي إلي المنخفض أو العكس ومن ثم لابد وأن نحافظ علي إعادة هذه النسبة عكسيا مع محولات التيار علي الجانبين وهو ما يتم من خلال التوصيلات المختلفة للمحولات فمثلا إذا كانت ملفات محول القدرة بالتوصيلة (نجمة / نجمة) يمكن أن توصل محولات التيار عليه إما (نجمة / نجمة) أو (دلتا / دلتا) وهو ما ينطبق أيضا للمحول (دلتا / دلتا)، وعلي نفس المنوال إذا كان المحول (نجمة / دلتا) فهنا الحذر ولا بد وأن يكون توصيل محولات التيار عكس تلك لمحو ل القدرة فتكون (دلتا / نجمة) والعكس بالعكس (الشكل رقم 5-29) حيث الرسم يخص المحول دلتا / نجمة، وتوجد هذه العملية بصورة قياسية لتحويل نوعية التوصيل كما في الجدول رقم 5- 9 والذي يحصر كافة أنواع الملفات للمحولات.



الشكل رقم 5- 29 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات محول نجمة دلتا

بنفس المبدأ السابق تطبيقه علي المولدات يكون هنا أيضا جزءا من ملفات الثانوي والقريب من نقطة التعادل غير محمي نتيجة قربه من الجهد الصفري وتعتبر الوقاية التفاضلية من أخطر الأنواع لأنها تعني أن الملفات بها خطأ ومن ثم يجب الفصل بسرعة والتعامل مع المحول بأسلوب الصيانة والاختبار ولا يجوز إعادة التوصيل إلا بعد نتائج مرضية من الاختبارات النمطية والتي تؤكد علي سلامة المحول أو المولد كما كان في البند السابق . الفصل بالوقاية التفاضلية للملفات هو أعلي درجات الخطورة كما تضاف الوقاية الغازية بالنسبة للمحولات في مجال الوقاية الآلية للشبكات الكهربية كما سوف يبين فيما بعد، والوقاية التفاضلية هنا تشمل الملفات ذاتها بجانب الوصلات من أطراف الملفات وحتي أطراف محولات التيار وإذا ما كان المحول ثلاثي الملفات أي له ثلاث جهات فيكون المتمم التفاضلي موصلا بين الثلاث جهات معا دون استثناء وهذا لا يحدث مع المولدات.



الشكل رقم 5- 30 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات وحدة مولد محول

3- وقاية ملفات وحدة المولد والمحول معا Unit Winding

في كثير من الحالات أن وحدة التوليد متكاملة أي أنها تتكون من مولد ومحول موصلان معا مباشرة دون أي قضبان بينهما ولا يمكننا تشغيل أي منهما بدون الآخر ولذلك نتعامل مع هذه الوحدة المتكاملة كأنها شيء واحد ونستخدم الوقاية التفاضلية على النحو الوارد في الشكل رقم 5-30 حيث يوصل المولد إلي الأرض الصفري من خلال مقاومة وتستخدم الطريقة الخاصة بالمحولات هنا أيضا وتكون الوقاية شاملة ملفات المحول والمولد معا والموصلات بينهما والموصلات إلي أطراف محولات التيار من الجهتين ، وقد ظهر بالرسم محول مساعد لينقل التيار بالقدر المطلوب وطبقا للضبط المحدد مع نسبة التحويل للجهتين .

كل ملف متمم يمرر تيار الوجه الذي هو فيه فقط ولكل من هذه الملفات ملمس خاص به فإذا ما مر تيار القصر يمر التيار في المتمم فيتم توصيل الملمس الخاص به وهو بذلك ينقل الجهد الموجب من الجهة الموصلة على قضبان التيار المستمر إلي الجهة الأخرى حيث ملف الفصل الخاص بفصل القاطع في الدائرة الرئيسية، وعلي نفس المنوال هناك جزءا من ملفات المولد غير محمي وآخر أيضا في ملفات المحول الثانوية والقريب من نقطة التعادل وهما ما يجب العناية بهما حتى وإن كان المحول موصلا إلي الأرض مباشرة (بدون مقاومة) وإن كان الجزء غير المحمي يقل كثيرا في هذه الحالة ولكن لا تخاذل من هذا الجانب ويلزم التأكيد على سلامة المحولات مهما كانت النسبة غير المحمية صغيرة.

ثالثا: حماية القضبان Bus Bar *Protection*

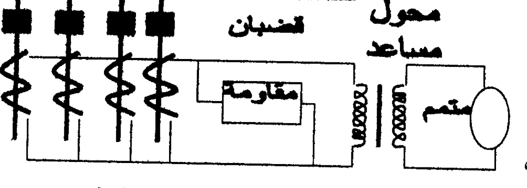
تحتل وقاية القضبان مكانة هامة وسط بقية أنواع الحماية الأخرى لما يقع عليها من مسئوليات أساسية في تشغيل الشبكات بكفاءة مرضية وهناك عدد من الأسباب لهذه الأهمية منها:

1- مستوى القصر short circuit level على القضبان أعلي بكثير من المواقع القريبة منه أو المجاورة.
2- يلزم التحكم زمنيا في أي خطأ على القضبان قبل إعادة الطاقة بسرعة وعادة تكون آليا في حدود 120 ملي ثانية تقليلا لمقدار الخسائر نتيجة الزيادة الهائلة في الطاقة والتي تظهر على شكل حراري.
3- يتأثر اتزان الشبكة بشكل مباشر لأي خطأ في منطقة القضبان وليست القضبان فقط
4- يتسبب القصر على القضبان أو منطقته في خروج كل الموصلات التي تتصل به وبالتالي يقطع التيار عن العديد من المناطق والمغذيات التابعة له.

ومن خصائص الوقاية من هذا النوع ما يلي :
1- الفصل المنفرد لكل قاطع CB على حدة
2- سرعة الفصل بمدة تقترب من 0.06 ث
3- عدم التشغيل الوقتي مع حدود التشبع في محولات التيار أو تأرجح swing القدرة في المولدات
4- التمييز بين القضبان وغيرها من المناطق المتجاورة

توضع القضبان بذلك على نطاقين هما وقاية منطقة القضبان bus zone أو وقاية القضبان فقط وذلك بهدف وقاية القضبان بحيث تكون مستقرة ضد الأخطاء الخارجية external عن القضبان وبسرعة فصل فائقة للخطأ داخل القضبان internal ، وتتعدد أسباب القصر في منطقة القضبان بين الاتصال مع الأرض أو التوصيل بين وجهين متجاورين أو بالشرارة الناتجة على العوازل أثناء عمليات الفصل والتوصيل أو لتواجد الأتربة عليها وأحيانا للظواهر الخارجية مثل الهزات الأرضية أو الأعمال الميكانيكية أو أعمال الصيانة وهذا يعبر عن أهمية هذا الجزء وما يتبع ذلك في نقاط هي:

1- وضع كل القواطع المتصلة بالقضبان داخل منطقة الوقاية لحمايتها من الأخطاء.
2- اختيار محولات التيار المناسبة للعمل مع وقاية القضبان.
3- الاعتماد على وقاية زيادة التيار (عادية أو بمعوقة كبيرة high impedance over current كما في الشكل رقم 5-31) أو التسرب الأرضي أو وقاية المسافة لأداء الفصل بسرعة بطيئة كوقاية ثانية Back up protection بعد وقاية القضبان ذاتها.
4- استخدام وقاية زيادة التيار الفرملة interlock over current من أجل فصل المولدات أثناء الخطأ على القضبان والتي تصمم تبعا لتكلفة دورة الحياة life cycle.



الشكل رقم 5-31 : متمم زيادة تيار بمعوقة كبيرة على القضبان

هكذا كانت الوقاية الناجحة للقضبان والتي تؤكد على وجود خطأ مباشر على القضبان إذا ما فصل متمم الوقاية التفاضلية لهذه القضبان أو أي من أجزائها (الشكل رقم 5- 32) ولذلك توضع القضبان محل العناية والتركيز على قدم وساق مع الملفات لأنه بدونها لا نستطيع التعامل مع المناورات والتي تشمل التوصيل والفصل والنقل والتحويل على طول الشبكة الموحدة وهو ما يخص

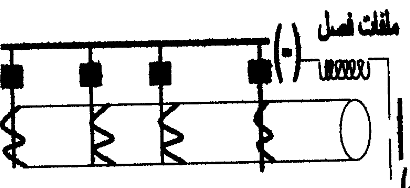
موضوع الوقاية للشبكة الكهربية ككل. نود التأكيد علي الرسم الخطي في الشكل رقم 5-31 أنه يتكرر لكل وجه وبذلك يكون لدينا ثلاث متممات وأي منهم يعطي الأمر بالفصل المباشر وتدخل القواطع داخل نطاق الدائرة التفاضلية وذلك بوضع محولات تيار كما نراها بينما لو نقلت هذه المحولات لتصبح بين القضبان والقواطع لخرجت القواطع من نطاق الحماية التفاضلية هذه.

نواجه عددا من المشكلات في الوقاية التفاضلية علي القضبان سواء كانت تخص وقاية منطقة القضبان أو القضبان وحدها وخصوصا إذا كانت هذه القضبان ذات اتصال مباشر مع مولدات نوجز منها ما يلي:

1- تباين مستوي القصر علي الدوائر المختلفة والمتصلة علي القضبان .

2- ظاهرة التشبع في محولات التيار نتيجة ظهور المركبة المستمرة في تيارات القصر .

3- تواجد القضبان المجزأة sectionalized في الشبكة . وهو ما نستطيع فهمه من خلال الرسمين الواردين في الشكل رقم 5- 33 حيث نجد منطقة غير محمية ولا تحس بوجود قصر مباشر فيها علي القضبان في الشكل (أ) بينما تلافينا هذا في الشكل (ب) .



الشكل رقم 5-32 : متمم الوقاية التفاضلية لفصل كل القواطع علي القضبان

4- الحاجة المستمرة لضبط المتممات مع التغير الشديد في الأحمال .

نتبع هنا التوصيل علي كل المخارج التي تتصل مع القضبان سواء كانت فردية أو مزدوجة أو ثلاثية الطراز ولهذا تكون دائرة الوقاية الخاصة بالقضبان عبارة عن دائرة تفاضلية عليها محولات تيار بعدد المخارج علي القضبان ويتم توصيل كل وجه معا لكل المحولات ويوضع المتمم ليحس بالمحصلة لهذه التيارات معا وهنا يتم فصل جميع القواطع لكل الدوائر الكهربية المتصلة علي القضبان وبلا استثناء إلا إذا تأخر عدد من الدوائر بعيدة عن المقطع المعيب من القضبان. بذلك نجد الجدول رقم 5- 10 قد أوضح الطرق المختلفة المتبعة لوقاية منطقة القضبان بشكل عام الملاحظات لكل منهم وهم خمسة طرق وخصائص كل منهم.

منطقة مزدوجة الحماية

منطقة غير محمية

R

(أ) قضبان مجزأة بها خطأ حماية

(ب) قضبان مجزأة بحماية كاملة

الشكل رقم 5-33 : الوقاية التفاضلية للقضبان المجزأة

الجدول رقم 5-10 : خصائص طرق الوقاية لمنطقة القضبان

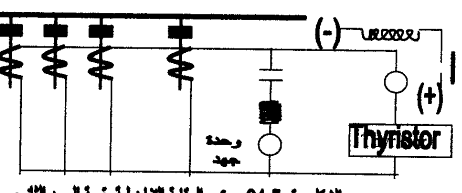
الطريقة	الخصائص	الملاحظات
زيادة التيار	الفصل الفوري أو المحدد	تصلح لشبكات التوزيع بمغذيات وزمن فصل حتى 400 ملي ث
الوقاية التفاضلية	التيار الدائر بالمتمم ذو المقاومة العالية الاعتماد علي فرق الجهد لتشغيل المتمم. الضبط المباشر	تصلح في المحطات الكبيرة محسنة الخواص التمييز بفرق الجهد تأخير فصل القصر البعيد
التسرب الأرضي	باستخدام محولات تيار مع الجسم المعدني	وقاية ضد الاتصال مع الأرض
الوقاية الاستاتيكية	تجنب مشاكل محولات التيار	الأفضل
وقاية احتياطية Back Up	زيادة التيار – وقاية المسافة	امتداد وقاية المغذيات لحماية القضبان

من العوامل التي توضع في الاعتبار لاختيار محولات التيار التي تستخدم في وقاية القضبان:

1- الاستعانة بمحولات تيار متماثلة وخصوصا عند التشبع وبنفس نسبة التحويل

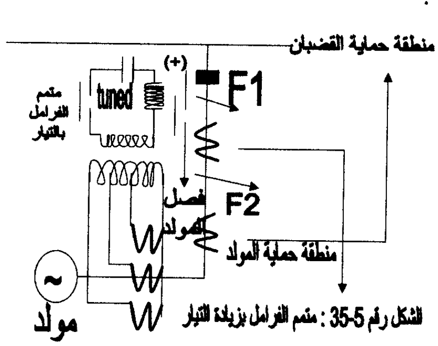
2- زيادة نسبة تحويل محولات التيار لتقليل نسبة تواجد التيار الاندفاعي إلي المتمم .

3- تقليل البردن بالتعامل مع المتممات الاستاتيكية وتقصير الوصلات
4- لا بد وأن تكون حدود التيار كبيرة .
5- استخدام القلب ذو الثغرات لمحولات التيار
6- نتغلب علي ظاهرة التشبع في محولات التيار برفع قيمة المقاومة علي الدائرة الثانوية لمحول التيار كما لو كانت الدائرة مفتوحة وهذا ينجح مع نوع محولات التيار بعازل الاختراق bushing CT ويعرض الشكل رقم 5- 34 الدائرة الخاصة بهذا وفيها يضاف فرع به مكثف وملف برنين طبيعي من أجل القضاء علي الموجات التوافقية وبمقاومة لهذا الفرع قد تصل إلي 3 ك. أوم بينما يتم توصيل ثيرثتور علي التوالي مع المتمم لتحديد قيمة الجهد كما يقوم بعمل قصر علي كل محولات التيار بعد أداء الفصل أما المتمم فهو من نوع زيادة التيار ويفصل فوري في حدود 0.6 – 0.12 ث .



الشكل رقم 5-34 : متمم الوقاية التفاضلية بقيمة الجهد الثانوي

7- استخدام محولات مساعدة متماثلة تماما
8- أساس المفاضلة بين نوعي الخطأ داخل أو خارج منطقة الحماية لا بد وأن يعتمد علي الجهد وليس التيار فيكون هائلا مع الأخطاء الداخلية مقتربا من قيمة جهد اللاحمل بينما تتضاءل القيمة مع الأخطاء الخارجية حيث يصل هبوط الجهد إلي أقصى حد علي الموصلات والملامسات.
9- ضبط المتمم بحساب أسوأ ظروف تشغيل محتملة مع معامل أمان بقيمة 2
بعض التصميمات تلجأ إلي تأخير فصل الوقاية للقضبان حرصا علي سلامة التشغيل باتزان الشبكة وذلك بالاستعانة بمتمم تحذير alarm relay كما يفضل البعض وضع حالة تشغيل المتمم بفصل الملامسات تقليلا للطاقة المستهلكة الهائلة وقت الفصل وهناك من يضيف ملمسا آخر علي التوالي لتأكيد وجود الخطأ وحتمية الفصل وهو ما يحتاج إلي فصل المولدات بتأخير زمني في حدود 5 ث لتخفيف العبء علي الشبكة حتي لا تخرج كل المحطات علي التتابع عن العمل



الشكل رقم 5-35 : متمم الفرامل بزيادة التيار

10- ضرورة توصيل متمم تحذير في الدائرة الثانوية إذا ما فصلت أحد الأطراف فيها حرصا علي سلامة التشغيل ولخطورة هذا الوضع علي دوائر الوقاية ذاتها .

أحيانا يتم اللجوء إلي متمم الفرامل بزيادة التيار Interlock Over Current Relay وهو يستخدم لمنطقتي حماية المولدات والقضبان (الشكل رقم 5-35) حيث نرى منطقة الحماية الخاصة بمنطقة القضبان متجهة إلي أعلى بينما تلك لمنطقة المولدات تتجه نحو المولدات وهناك منطقة ازدواج للوقاية بين المنطقتين حيث F2 فيعمل كلا النوعين من الوقاية معا ولكن بفارق زمني ضئيل، بينما F1 يقع داخل حماية منطقة القضبان فقط فيتم فصل القضبان ولكن مازال المولد خاضعا للعمل علي خطأ ولذلك يعمل هذا النوع من المتممات للتأكيد علي ضرورة الفصل من عدمه .ولهذا نجد أن ذلك المتمم يحتاج إلي التمييز بين نوعي الخطأ لفصل المولد بزمن تأخير يقترب من 0.1 – 0.5 ث ولا يجوز إعادة التوصيل التلقائي لهذا النوع من الوقاية عموما ، كما يجب التأكيد علي فصل جميع الأوجه في ذات اللحظة بقدر الإمكان. هناك المزيد عن القضبان ولكن ليست كدائرة وقاية بل كمنظومة وقاية كاملة مع بقية الدوائر المختلفة والمتداخلة معا.

S. E.
R. E.

الشكل رقم 5-36 : دائرة وقاية تفاضلية لخط نقل قصير

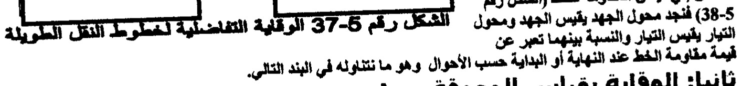
4-5: وقاية المسافة Distance Protection

من السهل تطبيق الوقاية التفاضلية علي المغذيات القصيرة لأن أسلاك الدائرة الثانوية (دائرة الوقاية) ستكون قصيرة أيضا حيث نجد أن التيار عند البداية دائما يختلف عن مثيله عند النهاية خصوصا كلما ارتفع جهد الخط نتيجة للتسرب الأرضي للتيار ونتناول هذا الموضوع في تسلسل مبسط

أولا: الوقاية التفاضلية Differential Protection

من السهل الاعتماد علي الوقاية التفاضلية للخطوط والكابلات والمغذيات حيث يظهر فرق بين التيارات في الجهتين ويتم ضبطه من المقاومة المتاحة في دائرة الوقاية (الشكل رقم 5-36) وإذا كان الفارق كبيرا فساعد علي خفض حساسية المتممات من هذا النوع، كما أن مقدار الفقد يكون كبيرا وإذا زادت أطوال الخطوط بقدر يصعب معه تنفيذ هذا الرسم خصوصا لانخفاض الحساسية لها حتى وإن كانت الخطوط قصيرة.

من ثم كانت الحاجة إلي البديل وقد كان البديل من خلال وسائل الاتصالات بأسلوب المرسل والمستقبل ليحل الاتصال اللاسلكي بدلا من أسلاك دائرة الوقاية وهو ما نراه في الشكل رقم 5-37 حيث نري المرسل والمستقبل في كلا الطرفين من الخط ويقارن بينهما في كل جهة علي حدة لاتخاذ القرار بالفصل عند اللزوم . قد أدى هذا الطراز من المتممات عمله بنجاح وثم زاد الاهتمام بالخطوط عن ذي قبل واتجهت الأسس إلي قياس المقاومة للخط (الشكل رقم 5-38) فنجد محول الجهد يقيس الجهد ومحول التيار يقيس التيار والنسبة بينهما تعبر عن قيمة مقاومة الخط عند النهاية أو البداية حسب الأحوال وهو ما نتناوله في البند التالي.



الشكل رقم 5-37 الوقاية التفاضلية لخطوط النقل الطويلة

ثانيا: الوقاية بقياس المعوقة Impedance Measurement

قياس المعوقة لخط ما يتوقف علي عدد من العوامل التي قد تتباين، كما إن عملية التحول من الطريقة التفاضلية لحماية الخطوط إلي أسلوب أفضل جاءت نتيجة ظهور أطوال للخطوط تمنع فكرة استخدام الطريقة التفاضلية أو ما كانت تعرف به بأسلوب المقارنة ومهما كان السبب فنحن هنا بصدد التعامل مع حقيقة ودقة التعامل مع قياس المعوقة لحماية الخطوط سواء الهوائية أو الكابلات الأرضية. من تلك البداية نقوم بشرح مبسط للخصائص الكهربية لهذه الحالات مع وضع المتغيرات المتعلقة في الموضوع ذاته.

أ) خصائص الجهد والتيار وقت القصر Short Circuit Performance

كيفية التصرف الكهربي لكلا من الجهد والتيار هام للغاية لتحديد كيفية التعامل معهما حتى نتوصل إلي الدقة المطلوبة وبالسرعة المناسبة للفصل التلقائي، واستكمالا لهذا المنهج نرى في الشكل رقم 5-38 مبادئ حساب قيمة مقاومة الخط في حالة ما إذا كان هناك قصر علي الخط عند النظر إلي الخط الكهربي في الشكل رقم 5-38 نجد أن حدود الفصل للقصر تقع علي البعد المحدد بالنقطة F حيث أن لها جهدا لا يساوي الصفر وإنما يحدد بالقيمة V_f ويفصلها عن الجهد الصفري المقاومة R_e وبالتالي يكون هناك تيارا محددا هو I_{sc} وتصبح المعوقة هي:

$$Z_f = V_f / I_{sc} \qquad (5\text{-}17)$$

يتم ضبط المتمم علي أساس هذه القيمة ولكن هذه القيمة قد تتفاوت إلي حد ما لأن الجهد يتوقف علي قيمة التيار والمقاومة إلي نقطة الجهد الصفري وهي مقاومة القصر تبعا للمعادلة:

$$V_f = R_e \cdot I_{sc} \qquad (5\text{-}18)$$

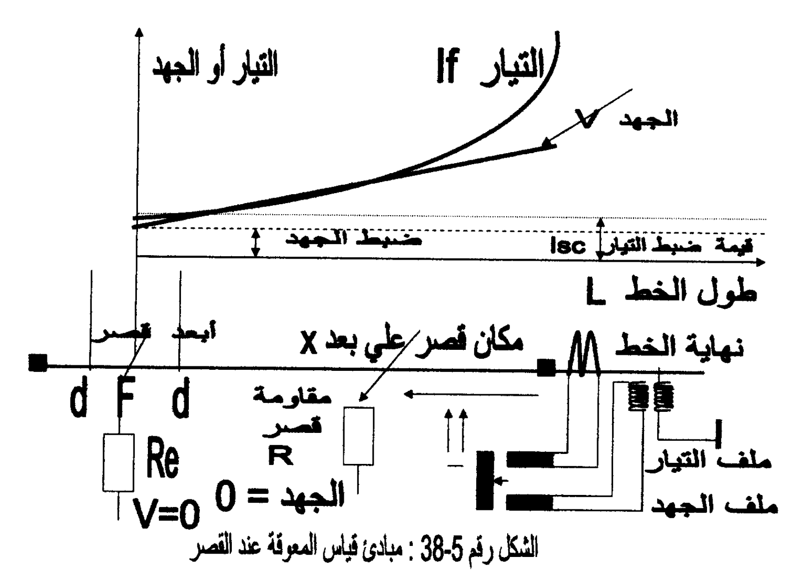
تظهر إمكانية ثبات قيمة الجهد هذا بأن يكون حاصل الضرب للقيمتين ثابتا أي أن قلة قيمة المقاومة قد يعطي نفس الجهد إذا كانت أقل من تلك المحددة عند النقطة F أي أن هناك مسافة قدرها d بعد مكان حدود الفصل (الضبط) حيث تقل قيمة المقاومة بشدة وتدخل داخل نطاق الفصل بالرغم من أنها في الخارج كما نجد من الناحية الأخرى ولمسافة ثانية قد تطول أو تقصر حسب الأحوال وقد تقل المقاومة وينخفض التيار بحيث تصبح عند مسافة x نفس الظروف القصوى

$$Vx = V_f + Z(line\ part\ L\text{-}x) \cdot I_{sc} \qquad (5\text{-}19)$$

نصل بذلك إلي أن تيار القصر يتأثر بقيمة الجهد المقاس وقيمة المقاومة للخط حتى نقطة الخطأ ، كما نلاحظ أنه كلما كان الخطأ أقرب إلي نقطة القياس كلما زاد تيار القصر بشكل أسي ولهذا يكون الفصل هنا بالمتممات الزمنية هاما ويكون تحديد أبعد نقطة لضبط الخطأ عند نقطة مثل F وليس عند حدود القضبان كي لا تتداخل الوقاية معا وفي نفس الوقت يكون الفصل للمنطقة التالية بزمن تأخير محدد ويدخل فيها عندئذ القضبان بل يتعداها إلي ما بعد القضبان .

نؤكد علي أن الخلل في قراءة الجهد كي تصبح قيمة مساوية للصفر بدلا من القيمة المقننة للجهد علي طول الخط مع ارتفاع قيمة التيار الداخل إلي ملفات محول التيار في بداية الخط يؤدي إلي قياس المعوقة تبعا لما نراه في الشكل العلم للخصائص الخاصة بالجهد والتيار أثناء القصر كما في الشكل رقم 5-38 علي النحو:

$$Z_{sc} = V_{sc} / I_{sc} = V_f \ (x + 1) / I_{sc} \ e^{a(L-x)} \quad (5\text{-}20)$$



الشكل رقم 5-38 : مبادئ قياس المعوقة عند القصر

من ذلك تكون المعوقة في أبسط صورة مثل

$$Z_{sc} = V_f (x + 1)\, e^{-a(L-x)} / I_{sc}\,(min) \quad (5\text{-}21)$$

كما نجد أن تيار القصر الأدنى قد يتحقق في أية نقطة علي طول الخط تبعا للشرط

$$I_{sc}\,(min) = V / Z(L - x) = constant \quad (5\text{-}22)$$

ب) خصائص التشغيل R-X Diagram

إن طبيعة العمل مع قياس المسافة عن طريق قياس الجهد والتيار للموازنة بينهما لتحديد ما إذا كانت المسافة خارج حدود الحماية أم بداخلها. يعمل عندئذ المتمم بذلك إذا قلت النسبة بين الجهد والتيار مشيرة إلي صغر المعوقة وعلي هذا المبدأ ظهر النوع الأول للوقاية ضد القصر وهو متمم المعوقة Impedance Relay حيث يعطي الشكل رقم 5-39 العلاقة البيانية للمعوقة علي مستوي الممانعة / المقاومة والتي تتبع المعادلة

$$R^2 + X^2 = Z^2 \quad (5\text{-}23)$$

في هذا النوع يعطي المتمم عزما يتناسب مع مربع التيار I^2 جهة ملف التيار بثابت تناسب `K (الشكل رقم 5-40) وبالمثل من الجهة الأخرى العزم T يتناسب مع مربع الجهد V^2 بثابت تناسب ``K بينما ثابت الياي الخاص بالقرص المتحرك هو ```K ومن ثم نحصل علي معادلة العزم في الصورة:

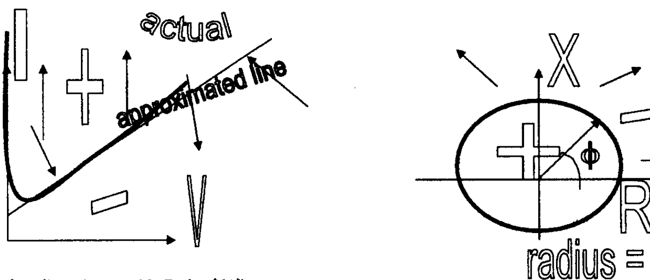
$$T = K` I^2 - K`` V^2 - K``` \qquad (5\text{-}24)$$

يظهر الاتزان عندما يتساوى العزم بالصفر أي لا يظهر أي عزم فتكون الحالة مستقرة وعندئذ نحصل من معادلة العزم السابقة علي

$$K` I^2 - K``` = K`` V^2 \qquad (5\text{-}25)$$

بالقسمة علي عزم الياي $K``$ نصل إلي :

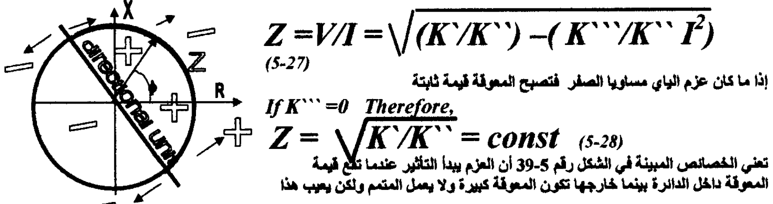
$$V^2 / I^2 = K` / K`` - K``` / K``I^2 R \qquad (5\text{-}26)$$



الشكل رقم 5-40 : خصائص التشغيل

الشكل رقم 5-39 العلاقة البيانية للمعوقة

يمكن تبسيط هذه المعادلة للحصول علي قيمة المعوقة في الصيغة:



$$Z = V/I = \sqrt{(K`/K``) - (K```/K`` I^2)} \qquad (5\text{-}27)$$

إذا ما كان عزم الياي مساويا الصفر فتصبح المعوقة قيمة ثابتة

If $K``` = 0$ *Therefore,*

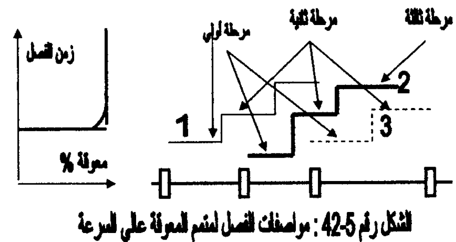
$$Z = \sqrt{K`/K``} = const \qquad (5\text{-}28)$$

تعني الخصائص المبينة في الشكل رقم 5-39 أن العزم يبدأ التأثير عندما تقع قيمة المعوقة داخل الدائرة بينما خارجها تكون المعوقة كبيرة ولا يعمل المتمم ولكن يعيب هذا

الشكل رقم 5-41 : خصائص متمم المعوقة بالاتجاه

أن دائرة التشغيل هذه تعمل مع القيمة السالبة وهو ما يمثل عيبا في هذه الخصائص بجانب أنها تتأثر بقيمة المقاومة فتصل إلي حالة under reachكما سبق التوضيح ، ومن ثم يلزم إضافة متمم لتوجيه هذه المقاومة لتكون في اتجاه الخط فقط وليس علي جانبي الشبكة كما نرى في الشكل رقم 5-41.

من الهام هنا التأكيد علي سرعة الفصل وتقسيم الخطوط المتتالية إلي مناطق متتابعة الفصل وبزمن فصل سريع في المرحلة الأولي ويسمي



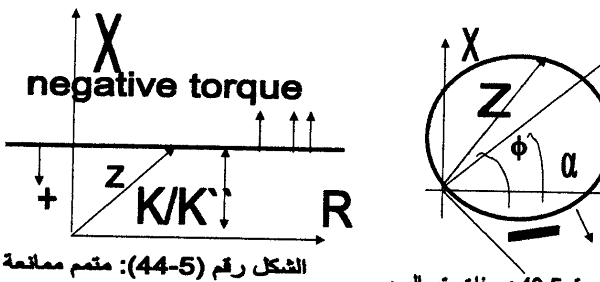
الشكل رقم 5-42 : مواصفات الفصل لمتمم المعوقة علي السرعة

بذلك متمم المعوقة سريع الفصل (الشكل رقم 5-42) ويزيد زمن الفصل في المراحل المتتابعة علي التوالي كما هو مبين بالشكل.

ثالثا: الوقاية بخصائص قيمة مقلوب المعوقة Admittance Relay

يسمى هذا النوع بأسماء عدة مثل متمم المعوقة بالزاوية (Angle Impedance Relay) أو متمم الموه (Mho Relay) ويختلف هذا عن سابقه في عدد من المزايا أهمها نقل محور دائرة المعوقة بحيث يمر المحيط بالصفر المحوري (الشكل رقم 5-43) فالحركة تتم بعزم قدره

$$T = K\,V\,I\cos(\phi-\alpha) - K''\,V^2 - K''' \qquad (5\text{-}29)$$



الشكل رقم (5-44): متمم ممانعة

الشكل رقم 5-43 : صفات متمم الموه

كما سبق في حالة المعوقة وبالمثل عند الاتزان (T = 0) نحصل علي

$$K''\,V^2 = K\,V\,I\cos(\phi-\alpha) - K''' \qquad (5\text{-}30)$$

Dividing by $K''\,V\,I$ we get:

$$Z = (K/K'')\cos(\phi-\alpha) - K'''/K''\,V\,I \qquad (5\text{-}31)$$

$$\text{If } K'''=0,\; Z = (K/K'')\cos(\phi-\alpha) \qquad (5\text{-}32)$$

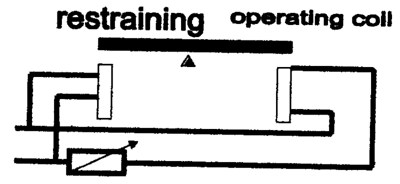
هذه عبارة عن معادلة دائرة نصف قطرها هو (K / K``) ونراها في الشكل رقم 5-43

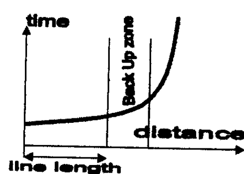
نجد أن الصفات الخاصة بعدم تواجد إتجاه للفصل قد تضاءلت تماما وأصبح استخدام متمم الاتجاه أفضل وتتم عملية التشغيل للنقاط داخل الدائرة فقط.

رابعا: الوقاية بقياس ممانعة الخط Reactance Relay

تتبع الوقاية بقياس الممانعة بدلا من المعوقة (الشكل رقم 5-44) أسلوبا متباينا مع السابق حيث تكون معادلة العزم هنا المعادلة

$$T = K'\,I^2 - K\,V\,I\cos(\phi-\alpha) - K''' \qquad (5\text{-}33)$$





(ب) أسلوب التفاضل بين عزمي الجهد والتيار

(أ) خصائص الفصل الزمني

الشكل رقم 5-45 : خصائص المتمم المحدد

عند الاتزان أي $T = 0$ نحصل علي

$$K` = K\,(V/I)\cos(\phi - \alpha) + K```/I^2 \qquad (5\text{-}34)$$

If $K``` = 0$, *negative torque*

$$K` = K\,Z\cos(\phi - \alpha) \qquad (5\text{-}35)$$

بينما عند الزاوية $\alpha = 90$ نحصل علي

$$K` = K\,(V/I)\sin(\phi) \quad or \quad X = K`/K \qquad (5\text{-}36)$$

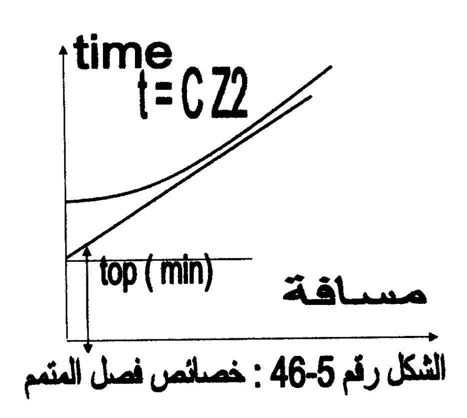
كما يستخدم بشكل جوهري تقسيما لفصل المتممات هذه علي النحو التالي

1- متممات محددة الفصل *Definite distance relay*

يستخدم مع كل الأنواع السابقة (impedance–Mho–Reactance type) ونري خصائصه في الشكل رقم 5-45

2- متمم المسافة الزمني *Distance Time Relay*

تعتمد خصائص هذا الأداء علي العلاقة بين الزمن والمسافة المحددة في الشكل رقم 5-46 ويستخدم عادة مع متمم المعوقة Impedance حيث يتحدد زمن فصل أدنى لا يمكن أن نسرع عنه وبعد ذلك يزيد زمن الفصل وهو ما يعني العلاقة بين معوقة طول الخط حتي مكان القصر، بهذا الشرح البسيط نكون قد وضعنا أيدينا علي جوهر أسس الوقاية للخطوط الكهربية سواء كانت الخطوط الهوائية أو الكابلات الأرضية والمغذيات، أما عن التكامل بين هذه الوقاية وتلك الخاصة بالوقاية الاحتياطية لها أو استخدام وقاية المسافة كوقاية احتياطية فتعتبر من المراحل المتقدمة للمتخصص وعليه سنحاول في الفصول القادمة وضع مزيدا من الضوء عليها.



الشكل رقم 5-46 : خصائص فصل المتمم

منظومة الوقاية PROTECTIVE SYSTEM

تتشكل وتتكون منظومة الوقاية بشكل علم من أكثر من دائرة وقاية تعمل معا في مجموعة واحدة لغرض أكبر من هدف الدائرة المنفصلة، حيث أن منظومة الوقاية تعمل علي تنفيذ ما هو مطلوب من كل دائرة وقاية مستقلة بذاتها كدائرة وقاية بينما تضيف منظومة الوقاية التنسيق بين كل دوائر الوقاية الداخلة في المنظومة. لهذا نجد أن منظومة الوقاية تمثل تجميعا لعدد من دوائر الوقاية وهي الدوائر المشتركة لحماية معدة بعينها. من ثم يكون هناك تخصصا جديدا لأداء كل منظومة وقاية كل علي حدة. لما كانت دائرة الوقاية من حيث النوع والهدف والتركيب والخصائص قد تم شرحها بالفصل السابق فيكون لزاما التعرض إلي ماهية منظومة الوقاية وخصائصها وخصوصا المسمى النوعي لها وهذا ما سوف نتعامل معه في البنود الحالية من هذا الفصل.

6-1: حماية المولدات *Generator Protection*

تقع هذه المنظومة علي رأس قائمة كل أنواع الوقاية العاملة في الشبكة علي وجه العموم ولهذا يجب التعامل من منطلق حماية المولد من أية أخطار أو أخطاء قد يتعرض لها وهذه العيوب نوجز أهمها في سياق البنود القادمة. من هذا التقسيم السريع لأنواع الأخطاء المحتملة توضع دائرة وقاية لكل منها ويتم تجميعها معا في منظومة واحدة تعرف بمنظومة وقاية المولد ولذلك نجد هذا التسلسل موجزا في السطور التالية.

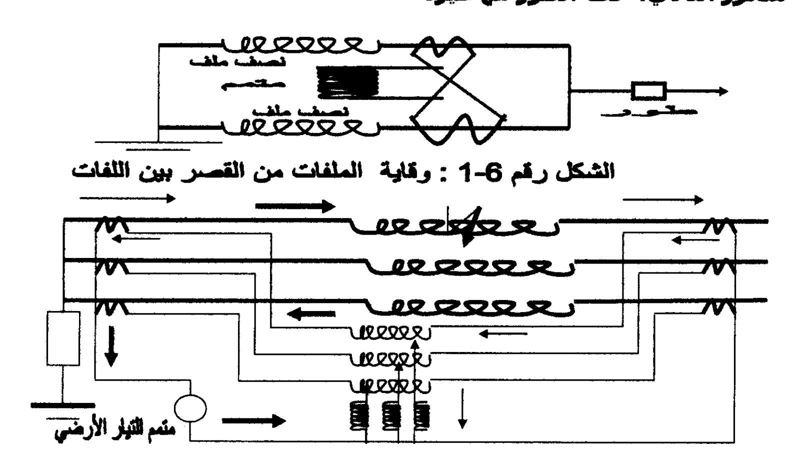
أولا: حماية الجزء الثابت stator faults & protection

يتكون المولد من ثلاثة أجزاء بالنسبة للتعامل مع أجهزة الوقاية وهي التي تتمثل في الجزء الثابت والجزء الدوار (المتحرك) بجانب ملفات المجال، ومن ثم نتعرض هنا للجزء الأول وهو العضو الثابت حيث أنه قد يواجه عددا من الأخطاء الكهربية. تتمثل هذه الأخطاء في الخطأ داخل الملفات الخاصة بالعضو الثابت وهي تنحصر في ثلاث محاور هي:

المحور الأول: قصر الطور مع الأرض

تنقسم هذا القصر إلي نوعين فإما أن يكون القصر بين الملف والقلب الحديدي iron core فيزيد من الحرارة في بقعة محددة وبالتالي نقاط اللحام أو الاتصال أو زيادة الحرارة over heating في الملف فتحطم العزل الخاص بها مع احتمال الخطورة بالوصول إلي تواجد حريق fire في العزل الخاص بالملفات أو في المنطقة عموما.

المحور الثاني: خطأ الطور مع غيره



الشكل رقم 6-1 : وقاية الملفات من القصر بين اللفات

الشكل رقم 6-2 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات مولد بمتمم تيار أرضي

نظرا لخطورة هذا القصر وخصوصا مع ملفات المولدات لما لها من أهمية في تشغيل الشبكة فنجد أنه من الأهمية أن يوضع ترمومتر في فتحات ملفات العضو الثابت

المحور الثالث: قصر داخلي في نفس الطور

هذا القصر الأخير ينطوي علي خطا الطور مع نفسه وهو ما يمثل الخطأ في القصر بين الملفات المتتالية والمتجاورة داخل ذات الطور (turn to turn fault)، ومن ثم لا بد وأن الرعاية الهامة لأنه قصر غير واضح في الكثير من الأحيان.
بعد ما سبق من التحليل نصل بذلك إلي تلك الدوائر اللازمة لحماية الملفات الثابتة وهي التي تتنوع إلي:

1- **الوقاية التفاضلية للملفات** السابق شرحها في الفصل السابق ،وهو النوع الذي يتميز بعدد من المزايا هي

(أ) **سرعة الفصل** والتي تتراوح في حدود 15 ملي ثانية مع المتممات الساكنة

(ب) **إمكانية الضبط المنخفض لقيمة التيار** وذلك يساعد علي خفض مقننات الوقاية بالدقة المطلوبة ويرفع من قيمة هذه الدقة لحالات القياس والأداء.

(ج) **الاستقرار الكامل مع القصر الخارجي** وهو ما يعني انعدام التأثير علي بقية المكونات في الشبكة أثناء الفصل أو بعده مما يشجع علي رفع درجة الاعتماد عليه في منظومة الوقاية لأي من الأجزاء الموجودة بالشبكة.

2- **وقاية ضد التسرب الأرضي** وقد سبق شرحه

3- الوقاية ضد الخطأ الداخلي في ملفات الوجه الواحد

هي ما نراها في الشكل رقم 6-1 حيث نجد مع المولدات الضخمة فيتم تقسيم الملف للوجه الواحد إلي ملفين متماثلين موصلان علي التوازي وهما داخل مجاري الملفات ولأنهما متجاورين فقد يحدث بينهما قصر ولن تشعر به الوقاية التفاضلية للملفات لأن التيار الفرق ضئيل بين تياري الملفين، ومن ثم تضاف تلك الدائرة التفاضلية المبينة في الشكل فتتيح للمتمم الفرصة لفصل المولد إذا ما ظهر فرق بين تياري نصفي (ملفي) الوجه الواحد وتضاف هذه الدائرة إلي السابقتين ويدخلون مع بقية الدوائر في منظومة واحدة لحماية ملفات الجزء الثابت.

بالنسبة للملفات التي لا تقبل وضع محولات التيار أو تلك وحيدة الطور فيمكن الاعتماد علي مركبة التيار الصفري كبديل لنوع هذه الحماية مثل حالة إضافة دائرة وقاية تيار أرضي في دائرة الوقاية التفاضلية للملفات (الشكل رقم 6-2) وتصبح دائرتين في واحدة فتوفر دائرة كاملة تقريبا، كما أن هناك إمكانية الوقاية عن طريق الجهد الصفري عن طريق محولات الجهد بالدلتا المفتوحة في الجهة الثانوية وقد سبق شرح هذا الموضوع في الفصل الخاص بمحولات القياس، أما بالنسبة لدائرة الوقاية التي سبق شرحها لملفات العضو الساكن فيمكن إضافة وقاية التيار الأرضي بإدخال مقاومة وملف متمم التيار الأرضي في دائرة الوقاية الخاصة بالوقاية التفاضلية (الشكل رقم 6-2) كما كان الحال مع دائرة الوقاية ضد زيادة التيار السابق شرحها في الفصل السابق. تتسم صفات هذه الدائرة المشتركة بثلاث مقننات هي:

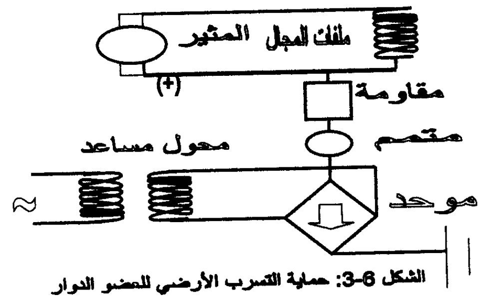
1- **يلزم اختيار ضبط التيار في متمم الأرضي بمنتهى الدقة** ويكون للمتمم عموما في حدود 10 – 50 % ويكون معدل ضبط اللقط pick up حوالي 5 – 50 % بينما زمن الفصل يقع بمقنن بين 5 و 20 ms والاستقرار الاندفاعي inrush stability بنسبة 5 أو 10 أو 15 ويمثل النسبة بين أقصى قيمة تيار قصر يمكن التوصيل عليه مباشرة إلي قيمة التيار المقنن.

2- يجب **وضع الضبط** بحيث لا يفصل إلا إذا كان القصر داخل منطقة الملفات ولا يتأثر بالقصر خارج المنطقة علي الجهد العالي.

3- **تتم حماية 80 % فقط من ملفات العضو الساكن للمولد** كما تستهلك من القدرة حوالي 0.3 ف. أ.

ثانيا: حماية الجزء الدوار rotor protection

تتكرر ذات العيوب الخاصة بملفات العضو الساكن بجانب تلك الأخطاء الديناميكية وما قد ينجم من تحطيم لجزء من العزل نتيجة الدوران الميكانيكي وهي التي قد تحدث ونضيف إلي ذلك النوع الهام من الخطأ وهو ما يخص ملفات المجال وهو الجزء المهيمن علي ضبط إيقاع حركة العضو الدوار ويمثل هذا الخطأ ككل من أخطر الأنواع تدميرا من الناحية الديناميكية. لهذا السبب يحتاج العضو الدوار إلي الحماية ضد التسرب الأرضي أو الاتصال مع الأرض وهو ما قد سبق شرحه في الفصل السابق كما يمكن وضع دائرة وقاية علي ملفات المهيج كتلك الموضحة في الشكل رقم 6-3.



الشكل 6-3: حماية التسرب الأرضي للعضو الدوار

قد يحدث فقدان المجال لأي فصل تلقائي للقاطع الخاص بدائرة المجال مسببا توقفه عن العمل فينتقل التأثير هذا مباشرة إلي العضو الدوار، لا يتم توصيل ملفات دائرة المجال بالأرض حتى لا يمر تيار عند القصر مع الأرض أو كي لا يقفل الدائرة علي جزء بين موقع الخطأ ونقطة الأرض ويحتمل ظهور مجال غير متماثل في دائرة المجال علي الأوجه الثلاث (إما لانقطاع أحد أقطاب قاطع دائرة المجال أو لحدوث قصر علي جزء من الملفات) فيعطي توزيعا غير منتظما وغير متماثلا للقوى المؤثرة ميكانيكيا علي العضو الدوار فتزيد من الضغط علي الكراسي وعامود الإدارة.

يتعرض العضو الدوار إلي زيادة السرعة over speed عن تلك المزمنة وقد تنتج عن إخراج الأحمال عن المولد فجأة لأن عجلة سرعة الدوران acceleration تعتمد علي القصور الذاتي والذي يتبع الصيغة ωR^2 فعند فقدان الحمل يجب أن يتعرف المتحكم governor الخاص بالمولد والتوربينات بالاستعانة بالمغناطيس الثابت علي هذه الزيادة في السرعة لأنه المتلامس مع عامود الإدارة shaft فتصل الحالة إلي المتحكم فيعطي الأمر من خلال ميكانيزم الكرة الطائرة fly ball mechanism إلي البادئ للحركة كي يقلل سرعة الدوران، كما يمكن إضافة حماية ضد زيادة الذبذبة over frequency وعادة ما تستخدم نوعية متمم الزمن المحدد للفصل MDF.

جدير بأن نضع صفات فقدان المهيج (المثير) وتأثيرها علي المولد من حيث استمرار الدوران أثناء القصر وهو ما يمثل الخطورة التي تستوجب إيقاف المهيج وعدم ظهور مجال علي العضو الدوار حتى نتمكن من إيقاف تغذيته لتيار الخطأ.

ثالثا: التشغيل غير العادي Abnormal operation

تأتي هذه النوعية من العيوب مع التشغيل غير السليم وهو ما يمكننا أن نصنفه في قطاعين

القطاع الأول: التشغيل غير المتزن Unbalanced Operation

تقع نوعية الأخطاء للتشغيل غير العادي في عدة نقاط هي:

أ) فقد التهيج excitation loss (الشكل 6-4)

ب) التحميل الزائد

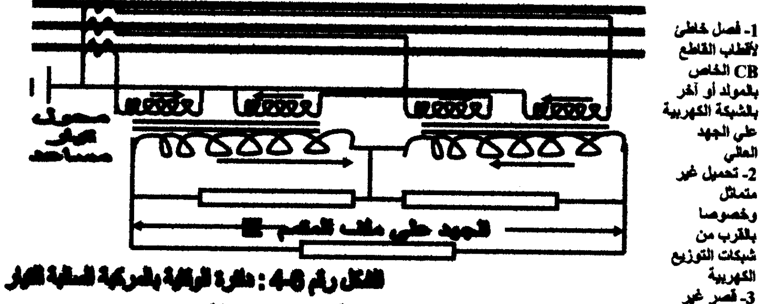
ج) السرعة المرتفعة عن المتزامنة

د) عدم اتزان الأحمال unbalance وهو الخطأ الأكثر شيوعا

هـ) ارتفاع الجهد الزائد

و) انهيار المحرك الابتدائيprime mover

تلك هو الوضع الذي قد ينجم عن:



الشكل رقم 6-4 : دائرة الوقاية بالمركبة السالبة للتيار

1- فصل خاطئ لأقطاب القاطع CB الخاص بالمولد أو آخر بالشبكة الكهربية علي الجهد العالي

2- تحميل غير متماثل وخصوصا بالقرب من شبكات التوزيع الكهربية

3- قصر غير متماثل وقريب جدا من المولد بالشبكة الكهربية فتصحبه السخونة المرتفعة والمتزايدة بشكل متفاقم.

ينتقل تأثيره في صورة حرارية تراكمية نتيجة مدة سريان هذا النوع من التيار I (أمبير) لمدة زمنية t بالثانية والتي تتبع الصيغة ($I^2 t = constant$) وتتراوح قيمة الثابت بين 20 و 30 ويعتمد هذا النوع من الخطأ علي تواجد المركبة السالبة حال ظهور قصر أو تغيير غير متزن بالشبكة الأصلية وبالتالي تظهر العيوب التالية:

1- يتحول العيب إلي حرارة فتظهر التيارات بالذبذبة العالية (الثانية)

2- تؤدي تيارات عدم الاتزان إلي سخونة العضو الدوار

3- تتولد اهتزازات شديدة في العضو الساكن وسخونته وهو ما قد يصل به إلي الدمار.

لذلك يستخدم للوقاية من مثل هذه الحالات متمم من النوع الزمن المحدد الأدنى للفصل IDMT ويعتمد علي قياس المركبة السالبة وإعطاء أمر الفصل فور ظهورها بالقدر المحدد حسب قيمة الضبط وتقيس المركبة السالبة إذا وجدت (شكل 6-4) فتعطي الأمر بالفصل مباشرة.

تظهر قيمة الذبذبة المقننة f لتشغيل الشبكة حدودا هندسية كمؤشر للتشغيل المعتاد وحدود التحول إلي الخطأ ومن ثم نجد أن العلاقة بين الفيض وكثافته B وبين بقية المعاملات المؤثرة علي الملف مثل عدد اللفات N ومساحة المقطع المار به A تتبع المعادلة المعروفة:

$$E = 4.44\, f\, A\, N\, B \times 10^{-8} \qquad (6\text{-}1)$$

بهذا نستطيع الحصول علي قيمة كثافة الفيض بوضع ثابت التناسب K في الصورة

$$B = (E / f \times 10^{-8}) / 4.44\, A\, N = K(E/f) \qquad (6\text{-}2)$$

تتناسب قيمة كثافة الفيض المتزايدة مع التيارات المغناطيسية فتسبب ارتفاعا في الحرارة وقد تزيد قيمة مجال التهيج أثناء محاولة الحفاظ علي ثبات قيمة الجهد علي القضبان بواسطة المتحكم ولهذا السبب نحتاج إلي العلاقة العكسية في الفصل الزمني وفصل المولد قبل المحول (الشكل رقم 6-5). تعتبر الوقاية بالذبذبة frequency من أهم الأنواع خصوصا مع شبكات التوزيع كما تتأكد أهميتها مع المولدات الصناعية industrial generators أو الخاصة بمواقع منفصلة وهي غير القادرة علي الفصل السريع فنحتاج إلي متمم انخفاض الذبذبة under frequency relay مع متمم تأخير زمني علي أن يغطي فترة الإنتقاليات ويقل عن زمن إعادة توصيل الدائرة، وهذا النوع يتعلق بخواص توصيل المولد سواء كانت أحد الأقطاب لم تتمكن من التوصيل أو خطأ مماثل لهذا في دائرة المجال أو أن التوصيل المتزامن فيه تجاوز كبير ولا يجب أن تقل الذبذبة عن 49 هيرتز. ويقدم أيضا الجدول رقم 6-1 النقاط الرئيسية للحالات غير العادية والتي قد يتعرض لها نظام التوليد في الشبكة عموما.

الشكل رقم 6-5: صفات الفصل بالذبذبة

القطاع الثاني: التشغيل كمحرك Motoring Operation

الجدول رقم 6-1: بعض أنوع التشغيل غير عادي للشبكة الكهربية

الحالة	التأثير	أسلوب الوقاية
تحميل حراري تحميل زائد ومستمر خلل في نظام التبريد	زيادة حرارية في ملفات العضو الثابت انهيار العزل الكهربي للملفات	وضع ترمومتر في فتحات العضو الثابت والمبردات – إضافة وقاية زيادة حمل مع زيادة التيار
تغذية قصر خارجي	تحميل غير متماثل - ضغط ميكانيكي علي الملفات وعامود الإدارة – تأثير حراري	وقاية المركبة السالبة أو زيادة الحمل للمولدات الصغيرة
عيوب عضو ساكن (أوجه- أرض – لفات)	احتراق الملفات - نقاط اللحام في القلب الحديدي – فصل المولد	وقاية تفاضلية وتسرب أرضي ووقاية لفات
عيوب العضو الدوار مع الأرض	عدم تماثل القوى المغناطيسية الداخلية فتدمر عامود الإدارة والكراسي	وقاية التيار الأرضي
فقدان المجال	يتحول المولد المتزامن إلي نوع تأثيري ويأخذ تيارات المجال من الشبكة فتزيد السرعة	دائرة وقاية فقدان المجال
تحول المولد إلي محرك	تختلف التأثيرات تبعا للمتحكم	وقاية عكس اتجاه سريان القدرة
الجهد الزائد	انهيار العزل الكهربي	مفرغات الشحنة

تحول المولد إلي حالة العمل كمحرك ظاهرة طبيعية ويمكن حدوثها ولكن علينا منعها بقدر المستطاع ونجد في الجدول رقم 6-2 إحصائية بسيطة عن الحالات المحتملة لتحول التوليد إلي مستهلك عند تشغيل المولدات بدون حمل وذلك منسوبا إلي المقنن بالكيلو وات مما يضع أمام أعيننا أهمية التعامل مع عكس القدرة أو بالمعنى الأصح الوقاية من إنعكاس سريان القدرة وبالتالي تكون الحاجة الماسة للاعتماد علي متممات الاتجاه وهي التي تتأسس علي ظهور الترتيب السالب للجهد أو التيار وبالتالي يعني أن سريان القدرة في الاتجاه الخطأ مما يستوجب فصل المولد مباشرة.

جدول رقم 6-2 : النسبة المئوية للقدرة المعكوسة عند تشغيل المولدات في حالة بدون حمل

النوع	النسبة (%)	النوع	النسبة (%)
توربينات بخارية (بمكثف)	1 – 3	الديزل	25
توربينات بخارية (بدون مكثف)	3	التوربينات الهيدروليكية	0.2 - 2

من الناحية الأخرى تأتي الأهمية لعملية الالتزام بإخماد المجال المؤثر على دوران المولد بناءا على المبدأ المبين في الشكل رقم 6-6 والذي يوضح ضرورة تحويل دائرة المجال إلي تغذية مقاومة لتفريغ المجال بعيدا عن المولد وهي مقاومة تفريغ خاصة تمثل حملا كهربيا، فبدلا من تغذية مجال إثارة المولد ينتقل تيار المجال إلي دائرة مقاومة التفريغ تلقائيا مع أمر دائرة الفصل في منظومة الوقاية.

رابعا: منظومة وقاية المولد Protective System

بعد كل ما سبق نستطيع تجميع كل الدوائر الخاصة بوقاية المولد معا في دائرة واحدة وهي ما تعرف باسم منظومة الوقاية خصوصا وأن هذا التجميع يتأثر بحجم المولد كما نجد في الجدول رقم 6-3 والمبين لهذه الدوائر والمناسب منها تبعا لحجم المولد وهي مقسمة في أربعة مستويات بوحدات قدرة ميجا وات.

قاطع المجال

ملف الفصل

الشكل رقم 6-6 : دائرة كهربية لإخماد المجال وتفريغ مقاومته

يعطي الشكل رقم 6- 7 الدائرة التوضيحية العامة لمنظومة الوقاية لمولد ككل في النهاية مبينا عليها كافة أنواع الوقاية غير أن مفرغات الشحنة تستخدم لحمايته من ارتفاع الجهد

بجانب تلك المتممات وكل منها يعطي الفصل لأحد القواطع أو الكل بلا استثناء كي يمنع الخطورة عن المولد ففي الشكل يتواجد 3 قواطع الأول لدائرة المولد والثاني بعد نقطة التعادل والثالث يخص دائرة المجال وهي مع وقاية إخماد المجال، ففي الحالات الخطيرة على المولد يتم فصل الثلاث قواطع بينما في حالات أخرى يكتفي بقاطع الأطوار أو الأرض فقط

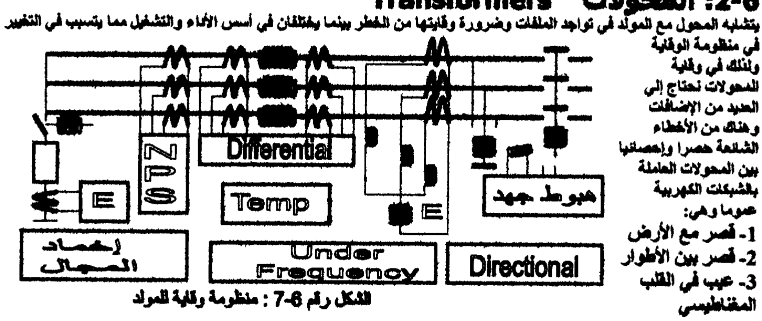
الجدول رقم 6-3 : نوعيات دوائر الوقاية المناسبة للمولدات المختلفة

دائرة الوقاية	أقل من 1م.و	من 1 – 10م.و	من 10 إلي 100	أكبر من 100
التفاضلية			#	#
تيار الأرضي			#	#
بين لفتين				#
زيادة تيار	#	#		
درجة حرارة		#	#	#
الترتيب السالب		#	#	#
فقد الحمل			#	#
فقدان وقاية عكس الاتجاه		#	#	#
تجاوز الحمل	#	#	#	#

6-2: المحولات Transformers

يتشابه المحول مع المولد في تواجد الملفات وضرورة وقايتها من الخطر بينما يختلفان في أسس الأداء والتشغيل مما يتسبب في التغيير في منظومة الوقاية ولذلك في وقاية المحولات نحتاج إلي العديد من الإضافات وهناك من الأخطاء الشائعة حصرا وإحصائيا بين المحولات العاملة بالشبكات الكهربية عموما وهي:

1- قصر مع الأرض
2- قصر بين الأطوار
3- عيب في القلب المغناطيسي



الشكل رقم 6-7 : منظومة وقاية المولد

4- قصر بين اللفات
5- الارتفاع الحراري
6- الانكسار الكهربي للعزل
7- الانفجار

هكذا تكون هذه الموضوعات وغيرها محلا للتعامل مع موضوع الوقاية في المحولات حيث تحتاج إلي العناية بوجه خاص مما يتطلب تحديد البيانات الأساسية عن المحول بدقة مثل القدرة ونسبة التحويل ورقم مجموعة الملفات وموقة الملفات وحالة نقطة التعادل بالنسبة للجهد الصفري بالأرض ونوعيه المحول بالزيت أم بالزيت والماء أم بالغاز أو غير ذلك وكذلك مستوى القصر عند القضبان الرئيسية ووضعه في الشبكة الكهربية.
تنقسم متممات الوقاية ودوائرها بالنسبة للمحولات علي النحو التالي:

أولا: أجهزة الوقاية Protective Device

تستخدم هذه الأجهزة بغرض الكشف عن العيب وفصله آليا وتتباين بين المحولات الصغيرة لأقل من 100 ك. ف. أ. حيث تكون الوقاية بالمصهر ذو القدرات العالية في القطع HRC ولا يحتاج إلي إضافات أخرى إلا إذا كانت زيادة الحمل كوقاية حرارية، علاوة علي أنه قد نحتاج إلي وقاية زيادة الحمل مع مغير الجهد الآلي للمحولات الكبيرة ومفرغات الشحنة أيضا للقضاء علي ظاهرة الفجائيات في الشبكة، وجدير بأن نحدد أن تجاوز الحمل للمحولات أمر واقع ويتأثر بدوائر التبريد ونوعية السائل المستخدم للتبريد ومستوي العزل ولكنه قياسيا يتبع جدول 6-4.
كل محول من المحولات له بيان خاص بتجاوز الحمل ويظهر عادة في المستوى الأقل عن 125 % وفيه تزيد المدة الزمنية المسموح بها عن 125 دقيقة. بينما للمحولات ذات قدرات أعلي حتى 500 ك. ف. أ. نحتاج إلي إضافة وقاية زيادة التيار وعادة علي جهة الجهد الأعلى أما وقاية التسرب الأرضي فهي ضرورية لحالة جهد التلامس ومركبة الترتيب الصفري في التيارات، أما بالنسبة للمحولات الأكبر والمستخدمة في شبكات التوزيع وحتى 5 م. ف. أ. فتزيد دوائر الوقاية بها وتصبح جميعها أساسية ولا يجوز التغاضي عن أي منها وهي المحددة علي النحو التالي:

الجدول رقم 6- 4: بيان بتجاوز الحمل مع الزمن المسموح به في المحولات الكبيرة

نسبة التحميل (%)	125	150	175	200	300
زمن التحميل (ق)	125	45	15	10	1

1- وقاية تفاضلية

هي مثل تلك التي جاءت بالنسبة للمولدات ولكن يضاف هنا أن المحولات قد يكون لها ثلاث أطراف بدلا من أثنين للمولدات ولهذا يعرض الشكل رقم 6- 8 هذا النوع من المحولات وطريقة المفاضلة بينهم في رسم خطي من أجل التبسيط

2- التسرب الأرضي

هنا يتواجد نوعين هما تيار المركبة الصفرية والذي يتعلق بالقصر إلي الأرض والنوع الثاني المتعلق بجهد التلامس بين جسم المحول المعدني ونقطة الجهد الصفري وهو تيار التسرب الأرضي.

3- زيادة التيار

هنا تظهر جهتين أو ثلاثة يمكن أن يوضع عليها هذه الوقاية ولكنه من المفضل تركيب متممات الزيادة في التيار علي جهة واحدة توفيرا وتبسيطا ولذلك توضع دائرة الوقاية ضد زيادة التيار علي ناحية الجهد العالي بين أطراف المحول جميعا كي يكون التيار قليلا وتصبح بالتالي الحساسية مرتفعة

الشكل رقم 6- 8 : الوقاية التفاضلية لمحول ثلاثي

4- زيادة الفيض المغناطيسي Flux Increase

يكون ذلك بسبب ارتفاع الجهد فيزيد من الفقد الحديدي والتيارات المغناطيسية فيصل إلي مستوى التشبع مما يؤدي إلي ارتفاع حراري في نقاط اللحام والربط في القلب الحديدي مثل ما يحدث تماما مع هبوط الذبذبة (الشكل رقم 6-9) وهو ما يظهر من خلال العلاقة الرياضية

الفيض المغناطيسي = ثابت (الجهد/الذبذبة) (6-3)

5- انخفاض الجهد

إن هذا هام لحماية الجهد علي الأطراف جميعا ولذلك يتواجد في المحولات الكبيرة مغير الجهد للحفاظ عليه باستمرار بل ويعمل آليا (علي حمل) مع كل تغير ليضبط علي القيمة المقننة

6- انخفاض الذبذبة

هو ما يؤثر بشكل مباشر علي اتزان الشبكة وتوزيع الأحمال بل واستمرارية التغذية في بعض الحالات.
بجانب ما سبق يزيد عنها دوائر أخري مع محولات الجهد العالي والفائق ذات القدرات الكبيرة مثل التعاقب السالب NPS والتعاقب الصفري Zero Sequence للحماية من جهد التلامس وكذلك الوقاية الحرارية لازدواجية وسط التبريد.

ثانيا: الوقاية بالخصائص الطبيعية والكيميائية

في هذا البند نجد أنه من الهام تناول المظاهر المصاحبة لعملية انهيار العزل أو التبريد أو الخلل في مكونات وسط ما قد يؤدي إلي قياس حساس لبعض المعاملات وبالتالي تعطي الفرصة في حماية المعدة وهذا هو المتبع مع المحولات بكافة أنواعها وسبل تبريدها ومن هذه النوعيات لتغذية دائرة وقاية خاصة بها ما يلي.

1- متمم قياس الضغط Pressure Gauge

ظاهرة زيادة الضغط لسائل أو غاز أو أي وسط يعني وجود خلل ما أو الاقتراب من ذلك ونستفيد من ذلك في توجيه إنذار بالحالة غير المعتادة من أجل المراجعة والتأكد من سلامة التشغيل أو التخلص من العيب إن أمكن وإلا سيأتي الفصل التلقائي بعد فترة زمنية محددة أو إذا وصلت القيمة تحت القياس إلي القيمة المرجعية لذلك، وهذا النوع يحس بالشرارة داخل الزيت والمسببة للضغط أو الأحمال المرتفعة والمسببة للحرارة الشديدة والتي تتحول إلي ضغط في الأوعية المغلقة. هو يتكون من صمام معه ياي له ضبط بقدر الضغط المسموح به ومن ثم مع زيادة الضغط يتحرك الياي ليسمح بمرور هواء مضغوط يحرك ملامسات تعطي إشارة الإنذار.

التيار

zero / low current period

الزمن

الشكل رقم 6-9 : التيار المغناطيسي أثناء زيادة الفيض

2- متمم معدل ارتفاع الضغط Rate of Rise of Pressure

يختلف هذا النوع عن سابقه في أنه يقيس فرق الضغط ولذلك فهو غير مناسب للضغط الاستاتيكي مثل ذلك الذي ينتج عن الشرارة بل يحس بنوع آخر من خلال مفتاح كهربي صغير يعمل مع الضغط الديناميكي وهو مناسب لأوعية (الخزانات) المحولات (التانك) والضغط بها ويعطي إنذارا بهذا الوضع إذا ظهر.

3- الوقاية الغازية Buchholze Relay

يعتبر جهاز الوقاية الغازية من أخطر الأجهزة العاملة في منظومة الوقاية للمحول خصوصا إذا عملت بالدائرة الثانية والخاصة بالفصل لأن هذا النوع من القياس يعتمد علي تجميع الغازات المتولدة داخل تانك المحول في جهاز هو المعني هنا وحيث أن الغازات قد تأتي إلي داخل المحول من دوائر ديناميكيات التبريد للزيت مثلا ومن أعمال الصيانة وتكون غازات متبقية فيعمل جهاز الوقاية الغازية علي مرحلتين هما:

المرحلة الأولي: دائرة إنذار Alarm Circuit

ظاهرة الوقاية في هذه المرحلة تعطي إنذارا فقط علي مستوى مرتفع داخل علبة الوقاية الغازية والمسببة لانخفاض عوامة علي المستوى المرتفع upper bulb فتسبب تلامس الملامسات وتغلق دائرة الإنذار فتعطي الإنذار تحسبا للخطأ الناتج عن تجميع الهواء من دائرة التبريد كما يعطي الفرصة للمهندس المختص باختبار الغازات التي ظهرت عما إذا كانت قابلة للاشتعال لأن القابلية للاشتعال تعني وجود شرارة داخلية في العزل (ملف أو زيت)، أما إذا كانت الغازات غير قابلة للاشتعال فيكون الهواء متجمعا من الصيانة فيتم العمل علي التخلص منها مباشرة. أما في حالة وجود شرارة تعطي الغازات قابلة الاشتعال فعندئذ تحتاج إلي المزيد من الاهتمام غير أن هذه الحالة سوف تؤدي بالضرورة إلي تشغيل المتمم بالمرحلة الثانية (أي الفصل التلقائي للمحول من جميع الجهات).

المرحلة الثانية: دائرة الفصل Tripping Circuit

تعتمد هذه الدائرة علي الخطورة الواقعة علي المحول إذا استمر في العمل ولذلك تتصل بدائرة الفصل بل ويكون أمر الفصل موجها لجميع ملفات الفصل الرئيسية الخاصة بكل القواطع علي جميع الجهات التي يعمل عليها المحول دون استثناء ويمنع توصيل المحول إلا بعد إجراء الصيانة والاختبارات اللازمة، وتنقسم هذه النوعية من الوقاية إلي تلك الوقاية التفاضلية بالنسبة للملفات من حيث الخطورة والأهمية وأسلوب التعامل معهما واحدا.

ثالثا: أجهزة وقاية الأمان والإنذار

هذه المتممات التي تعمل في هذا النطاق ذات مجال واسع للضبط وهي في حقيقة الأمر تتغير من وضع إلي آخر ومن محول إلي نوعية مختلفة ففي المحولات العاملة بزيت المحولات يختلف الأسلوب والوضع عن المحولات المفرغة (المخلخلة) أو تلك العاملة بغاز سادس فلوريد الكبريت ولكن مبدأ الوقاية واحدا للجميع ونضع منها:

1- متمم ارتفاع الحرارة Temperature Rise

يعمل هذا المتمم علي ثلاث مراحل ففي المرحلة أولي (دائرة الإشارة) تقوم الدائرة بإعطاء الإشارة، إذا وصلت درجة الحرارة إلي الضبط المحدد في الجدول رقم 6-5 إلي حجرة التحكم وتقوم بتوصيل دائرة المبردات الاحتياطية تلقائيا للمساعدة علي تبريد المحول وخفض درجة الحرارة وفي المرحلة الثانية (دائرة الإنذار)، معلنا عن إستمرار ارتفاع درجة الحرارة بالرغم من تشغيل المبردات الإحتياطية

وأنه عند الارتفاع بدرجة الحرارة حتى 95° م،تعطي إنذارا في حجرة التحكم بأن درجة الحرارة ما تزال ترتفع عن الحدود الطبيعية وذلك
للتأكد من سلامة دوائر التبريد والمبردات الموجودة بالمحول وأية أسباب أخرى بينما المرحلة الأخيرة (دائرة الفصل التلقائي) تعلن أن
درجة حرارة زيت المحول قد دخلت إلي منطقة الخطورة وتظهر هذه النوعية بالمحولات المعزولة بالزيت (بالمثل لمحولات العزل الغازي
ولكن بدرجة حرارة مختلفة)، مما يلزمنا بتشغيل المرحلة الثالثة آليا كي تعطي أمرا بالفصل وعادة توضع عملية قياس درجة الحرارة في
الزيت لعدم سهولة التعامل مع درجة حرارة الملفات وهي تبعا للمقنن المحدد في الجدول رقم 6-5.

الجدول رقم 6-5: مقننات ضبط درجة الحرارة لدوائر الوقاية ضد ارتفاع درجة حرارة زيوت المحولات

البيان	درجة الحرارة (° م)
تشغيل مبردات إضافية	60
إنذار	95
فصل تلقائي	120

2- مفرغات الشحنة Arrester

تعمل هذه النوعية علي منع الجهد من الارتفاع عن مستوى العزل وبالتالي تعطي مقاومة عالية جدا عند الجهد المقنن بينما تنهار المقاومة وتصل إلي الصفر تقريبا إذا ارتفع الجهد فتؤدي إلي خلق مسار سهل للتيارات في هذه اللحظة وتمر إلي الأرض دون المساس بالملفات حيث أن هذه الأجهزة تتصل مثل محولات الجهد مع الشبكة من جهة ومع الأرض من الناحية الأخرى، مما يعني أن مفرغات الشحنة ذات مقاومة غير خطية بل وحادة التغير عند مستوى جهد محدد لكل منها، وهي تتنوع تبعا لنظرية عملها مثل:

أ) مفرغ شحنة ذو العامود والثغرة Rod Gap

ب) مفرغ شحنة متعدد الثغرات multi gap arrester

ج) مفرغ شحنة طارد Expulsion Arrester

د) مفرغ شحنة صمام Valve Arrester

هـ) مفرغ شحنة ثايرايات Thyrite Arrester

و) مفرغ شحنة معدني متأكسد (Metal Oxide Arrester)

الجدول رقم 6-6 : بيان بنوعية المحولات المستخدمة لمبدأ أجهزة الوقاية والأمان

جهاز الوقاية	محول بالزيت	اسكاربل	تهوية جافة	مغلق
إنذار انخفاض مستوى الزيت Oil Level Gauge	#	#		
إنذار بالخلل في ضغط التفريغ *Vacuum Level Gauge*				
مفتاح الضغط / التفريغ *Pressure / Vacuum Switch*				
ظهور تسرب ضغط *Pressure Leakage Valve*	#	#		#
مبين ارتفاع الضغط المفاجئ *Sudden Rise in Pressure*	#	#		#
مبين ارتفاع درجة الحرارة *Temperature Rise*	#	#	#	#
إنذار النقطة الساخنة *Hot Spot Indicator*	#	#	#	#

تتمتع هذه النوعية من الوقاية سواء قياس درجة الحرارة أو أية كمية أخري بضمان سلامة تشغيل المحول والقضاء علي أي من مظاهر الخطر بل وعدم الوصول إلي حالات التشغيل الخطرة ويتم ذلك من خلال أجهزة القياس والإنذار من أجل الأمان بجانب أنها تحدد المحاذير التي يلزم تجنبها والعيوب المطلوب التخلص منها أثناء التشغيل والصيانة والمتابعة عموما، ولكنها جزئيا أو كليا تعتمد علي نوعية المحول كما يظهر ذلك من الجدول رقم 6-6.

رابعا: منظومة الوقاية للمحول Protective System for a Transformer

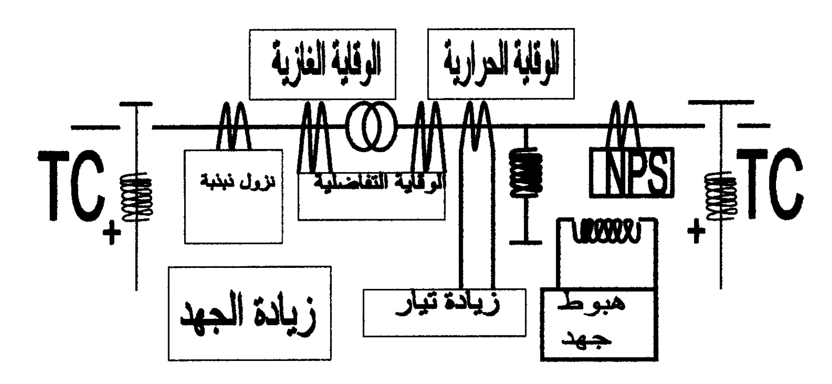
ننتقل الآن إلي منظومة الوقاية الكاملة للمحول وسوف نلجأ إلي الرسم الخطي المفرد تبسيطا للرسم من جهة ولأننا نضع دوائر الوقاية في الشكل الصندوقي كما هو معطى في الشكل رقم 6-10. ذلك هو ما يمكن أن نبسطه بشكل عام لكل مستويات المحولات كما في الجدول رقم 6- 7. نتعامل في بعض الأحيان مع محولات متوازية التشغيل مما يزيد من الصعوبة في التعامل مع دوائر الوقاية لأنه دائما ما تظهر تيارات دائرة داخل المسارات المغلقة فتزيد من درجة حرارة المحولات ولذلك تحتاج هذه الدوائر إلي معاملة أجهزة الوقاية بعناية وتضاف فيها كلا من وقاية زيادة التيار / الاتجاه directional over current ووقاية التيار الأرضي / الاتجاه وذلك علي جانب الجهد المنخفض للمحول لمنع المغذيات السليمة من تغذية القصر حالما وجد.

بالنسبة لوحدة التوليد الكاملة (مولد + محول) كوحدة واحدة فيكون لها الحماية السابقة لكل منهما فالوقاية التفاضلية تشمل ملفات المولد والمحول معا بينما يكتفي بوقاية زيادة تيار واحد وتصبح المنظومة أكثر تعقيدا لعدة أسباب منها

1- زيادة صعوبة ضبط المتممات ودوائرها خصوصا مع ظهور محولات مساعدة في الدائرة

2- تداخل عدد كبير من محولات التيار في المنظومة

3- التشبع في محولات التيار خصوصا مع زيادة البردن
4- اتزان المنظومة ككل أثناء الفصل التلقائي



الشكل رقم 6-10 : الرسم الخطي لمنظومة الوقاية لمحول

مثال 6-1:

تمت حماية ملفات محول قدرة خفض بمقنن 100 kVA ، 2400 / 240 V والمطلوب اختيار نسبة محولات التيار المناسبة وكذلك إيجاد النسبة الفعالة (N_r / N_o) للملفات الضابطة (operating turns\to restraining turns) إذا كان المتمم سوف يسمح بالتيار حتى قيمة اللقط التي سوف تسمح بنسبة 20 % من التيار الابتدائي I_1

الحل:

تيار الابتدائي نحصل عليه من مقنن المحول في الصيغة

$$I_1 (rated) = 100 / 2.4 = 41.7 A$$

حيث أن نسبة التحويل هي المعادلة لقيمة التيار الثانوي فنجد أن

$$I_2 = I_1 (N_1 / N_2)$$

من ثم نجد أن قيمة التيار الثانوي هو

$$I_2 (rated) = 10 \ I_1 = 417 A$$

بوضع الدوائر الساكنة والرقمية داخل دوائر الوقاية يمكن التغلب علي هذه العيوب أو أغلبها.

الجدول رقم 6-7: بيان موجز للوقاية الخاصة بمحولات القدرة

العيب	الوقاية	الملاحظات
انهيار عزل ملفات أو زيت	وقاية غازية - متمم ضغط مفاجئ – تسرب الضغط	الوقاية الغازية للمحولات ≤500 ك. ف. أ.
قصر داخلي	وقاية غازية للمحول ولمغير الجهد وقاية تفاضلية - زيادة تيار	وقاية بطيئة - للمحولات ≤ 5 م. ف. أ. متمم ذو فصل سريع
تشبع الدائرة المغناطيسية	وقاية زيادة الفيض - زيادة الجهد	للمحولات الهامة
الاتصال مع الأرض	تفاضلية - تسرب أرضي	للمحولات الكبيرة - فصل فوري أو متأخر
عيوب عامة	تدرج زمني - مصهر HRC	في شبكات التوزيع - للمحولات الصغيرة
زيادة الحمل	حراري - درجة الحرارة	مزدوج حراري - مراحل ثلاثية
الصواعق والفجائيات	ثغرات - مفرغ شحنة	للمحولات الصغيرة - تضاف إضافة لتلك للخطوط

باختيار محول تيار لدائرة الابتدائي بقيمة 50 / 5 وللثانوي بقيمة 500 / 5 ونفرض أن $(k = N_r / N_o)$ وهي النسبة التي يجب أن تتحدد كي تتحكم في حساسية المتمم ومن ثم نجد أن:

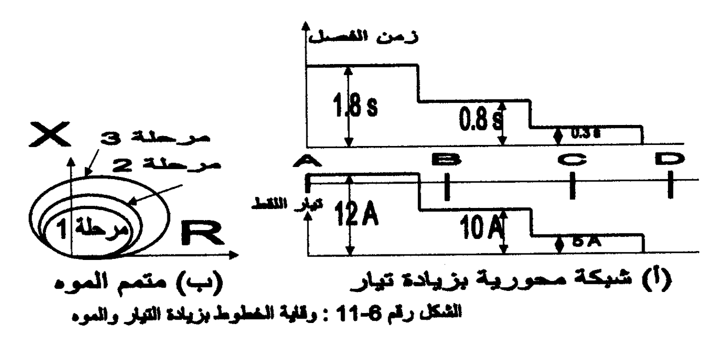
$$I_2 = 0.8 I_1 \quad \& \quad (2 - k) = (2 + k)\, 0.8 \ , \quad 1.8\, k = 0.4 \ \& \ \text{then} \quad k = 0.222$$

6-3: الخطوط Transmission Lines

سبق الحديث عن متممات المعوقة والموه والممانعة وهذه كلها من الأجزاء الهامة عند التعامل مع منظومة الوقاية للخطوط وهي تشمل الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية وفي هذا الشأن نجد أن وقاية الخطوط تشمل:

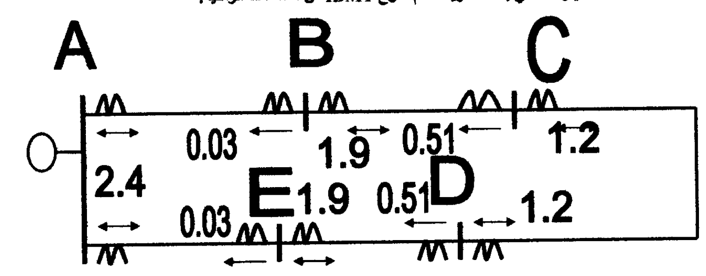
1- وقاية زيادة التيار over current protection

يتفرع هذا النوع إلي التدرج الزمني أو بالاتجاه أو محدد التيار، وقد يستخدم الأسلوب التفاضلي مع المغذيات القصيرة short feeders وقد يعيبه عدم ملاءمة زمن التأخير time lag مع القصر أو أنه قد لا يناسب الشبكات الحلقية بجانب أنه يحتاج إلي التعديل المستمر مع كل تطوير في الشبكة وهو أمر بالغ الصعوبة.



الشكل رقم 6-11 : وقاية الخطوط بزيادة التيار والموه

نجد أنه كما في الشكل رقم 6- 11 المحدد لشبكة محورية محدد بها محولات تيار (200 / 5 أ) مقنن والرسم يحدد أن هذا التدرج قد يكون مع الزمن فقط أو التيار فقط ولكن في النهاية لابد وأن يكون مع كليهما، كما أن المرحلة يجب أن تكون في حدود 80 % من الطول الكلي للخط وليس 100 % حتى لا يتداخل المتمم هذا مع وقاية القضبان أو المحولات في المحطة الطرفية . رجوعا إلي التدرج فمع الزمن بالثانية نجد التدرج يستلزم متمم زمني بتأخير محدد أو مع قيمة التيار والمحدد بتيار اللقط مرحليا وهي تختلف عما إذا ما كان المتمم به وقاية اتجاه أم لا وقد يظهر من الشكل الحلقي وبه وقاية الاتجاه في بعض القضبان بالشبكة حيث يتم إسراع الفصل مع تحديد الاتجاه وعموما يكون الفصل فوريا في المرحلة الأولى ويكون ضبطها على قيمة التيار المساوية 150 % من قيمة أقصى تيار قصر ثلاثي الوجه، بينما يأخذ الطراز العكسي بعد ذلك ويستخدم النوع IDMT من المتممات الزمنية.



الشكل رقم 6-12 : الضبط الزمني مع مختلط نوعية الاتجاه

بالنسبة لقيمة الضبط فهي تعتمد علي قيمة تيارات القصر ومستوياتها وفي هذه الحالة كانت عند القضبان A بقيمة 3.6 ك. أ. و B بقيمة 2.9 وأخيرا عند C هي 2.2 ك. أ.، أما بالنسبة للشبكة الحلقية فنجد أن مستويات القصر مبينة في الجدول رقم 6- 8 تبعا للاتجاه والضبط الزمني بالثانية مبينا علي الشكل رقم 6-12 مع إظهار نوعية الوقاية مع الاتجاه مع محولات تيار بنسبة 300 / 5 أ.

الجدول رقم 6-8 : قيمة مستويات تيار القصر (ك. أ.) علي القضبان في كلا الاتجاهين

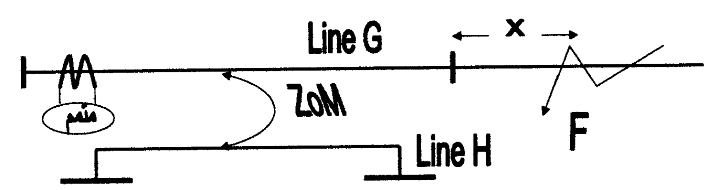
القضبان	اتجاه ABCDE	اتجاه AEDCB
A	12	12
B	8	8
C	5	5
D	3	5
E	2	2

معامل زيادة (تشبع) الوصول over reach وهو المحدد بعلاقة ضبط مقاومة اللقط بالمتمم Z_R وقيمة اللقط الفعلي مع القصر Z_F سواء كان الأمبير أو أوم فتصبح الصيغة

$$Over\ reach\ \% = (Z_F - Z_R) / Z_R \qquad (6\text{-}4)$$

هذا المعامل قد يظهر مع الدائرة المبينة في الشكل رقم 6-13 حيث يقترب خط موزض من ذلك الذي عليه قصر فقيمة ضبط متمم الخط الأول نسبة إلي التأثير المتبادل بين الخطين معاملا لظهور التيار في الخط ويصبح

$$I_{HO} = I_{GO} (Z_{OM} / Z_{LO}) \qquad (6\text{-}5)$$



الشكل رقم 6- 13 : تشبع الوصول علي خطين متجاورين مع التأثير المتبادل

يقيس المتمم الجهد

$$V_{GR} =(1+x)(I_{G1} Z_{L1}+ I_{GO} Z_{LO})-I_{HO} Z_{OM}$$
$$= I_{GO} [(1+x)(2Z_{L1}+Z_{LO}) - \{(Z_{OM})^2/ Z_{LO}\}] \qquad (6\text{-}6)$$

أما التيار الذي يصل المتمم فهو

$$I_{GR} = I_G+I_{GO} (Z_{LO}/ Z_{L1}-1)=I_G+I_{GO} (K-1)=2I_{G1}+I_{GO}K \qquad (6\text{-}7)$$

عند ضبط التيار فمن الضروري ضرب القيمة المساوية أقصى مستوي قصر في المعامل 1.25 لتغطية تواجد مركبة التيار المستمر من أجل الضبط الجيد لقيمة لقط المتمم.

مثال 6-2:

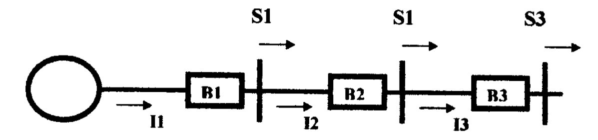
لشبكة الخطوط محورية الشكل كما في الشكل رقم 6-14 بجهد 13.8 kV تمت الحماية ضد زيادة التيار باستخدام متمم لكل وجه في دائرة الفصل التلقائي يعمل تبعا لمحولات التيار الموضوعة علي كل طور كما في الشكل رقم 6- 15 وقد تم حصر معاملات المنظومة في الجدول رقم 6-9 والجدول رقم 6-10 وتمت جدولة بيانات المفاتيح للمتمم في الجدول رقم 6 - 11 والجدول 6-12.

الجدول رقم 6-9: نقاط ضبط المتمم المستخدم

ضبط زمن TDS		ضبط تيار CTS
5	½	4
6	1	5
7	2	6
8	3	7
9	4	8

الجدول رقم 6-10: أقصى حمل للشبكة

أقصى حمل		رقم قضبان
معامل قدرة متأخر	S (MVA)	
0.9	8.5	1
0.9	3	2
0.9	5	3



الشكل رقم 6- 14: شبكة محورية من خطوط kV 13.8

الحل:

المطلوب تحديد ضبط التيار(current tap setting) لكل متمم وتعرف اختصارا (CTS) وكذلك الضبط الزمني (time dial setting) وهي أيضا تعرف اختصارا (TDS) حيث أن جميع المتممات متماثلة ولهذا نحسب ضبط التيار ونبدأ من نهاية الشبكة أي المفتاح B3

$I_3 = S_3 / V = 5 / 0.0138 \sqrt{3} = 209$ A

I_3 (RELAY) = 209 A / (400/5) = 2.61 A

إذا كانت أقل نقطة ضبط للتيار للمفتاح B3 هي 4 أمبير فسوف نعتبرها اختيارا وبذلك يكون

CTS = 4 A

بالنسبة للقاطع B2 نجد أنه يري الحملين S3 و S2 حيث أن لهما نفس معامل القدرة فيمكن جمعهما جبريا بدلا من المتجهات ويكون التيار هو

$I_2 = (S_3 + S_2) / V = 8 / 0.0138 \sqrt{3} = 335$ A

I_2 (RELAY) = 335 A / (400/5) = 4.18 A

الجدول رقم 6-11: أقصى تيارات قصر بوحدات الأمبير للشبكة

رقم قضبان			نوع القصر
3	2	1	
2496	2808	3120	3 طور
2304	2592	2880	L - E
2368	2664	2960	L - L
2432	2736	3040	L – L - E

يمكننا اختيار ضبط التيار أعلي من الأخير وبذلك نختار 5 أمبير للمفتاح أما بالنسبة للقاطع B1 حيث يري مجموع الثلاث قدرات (S1 , S2 , S3) فنجد

$$I_1 = (S_3 + S_2 + S_1)/V = 16.5 / 0.0138 \sqrt{3} = 690 \text{ A}$$

$$I_1 (\text{RELAY}) = 690 \text{ A} / (800/5) = 4.31 \text{ A}$$

الجدول رقم 6 - 12: بيانات القاطع / المتمم

رقم القاطع	نوع المتمم	مقنن محول التيار	زمن فصل القاطع (Cycles(
B1	X	5/800	6
B2	X	5/400	6
B3	X	5/400	6

من ثم نختار الضبط 5 أمبير
بالنسبة للضبط الزمني TDS فيتم الاعتماد علي أسوأ الأخطاء أي أكبر قدرة قصر وهي دائما قصر الثلاث أوجه حيث أن يكون مطلوبا الفصل السريع ونختار البداية من نهاية الشبكة ونختار الأقل وهو 2/1 للقاطع B3 حيث أنها تمثل خصائص المتمم في أسرع فصل

$$I_3 (\text{RELAY}) / CTS_3 = [\{ 2496/ (400/5)\}/4] = 7.8$$

من الجداول الخاصة بالمتمم نحصل علي الزمن المقابل لهذه القيمة وهي 0.15 ثانية والذي يضاف إليه عمل القاطع وهو 6 دورات أي 0.1 ثانية ولذلك يكون الزمن للقطع عند نهاية الشبكة هو $T_{3\ OPENNING} = 0.15 + 0.1 = 0.25$ S
كما يلزم إضافة 0.3 ثانية في مرحلة الفصل التالية لتغطية الحركة الخاصة بالمتمم وأخطاء الحسابات والتقريب فيها ولهذا يكون الضبط الزمني هو

$$T_{2\ SETTING} = 0.15 + 0.1 + 0.3 = 0.55 \text{ S}$$

بالمثل ننتقل إلي القاطع الثاني

$$I_2 (\text{RELAY})/CTS_2 = 7.8\ (4/5) = 6.24$$

من ذلك نختار من الخصائص التي تمثل أداء المتمم بأن يكون تقريبا TDS = 2
بالنسبة للقاطع الأخير يكون الزمن هو $T_2 = 0.5 + 0.15 + 0.3 = 0.95$ S

$$I_1 (\text{RELAY}) / CTS_1 = [\{ 2808/ (800/5)\}/5] = 3.51$$

المتمم لكل طور

Trip

Reset

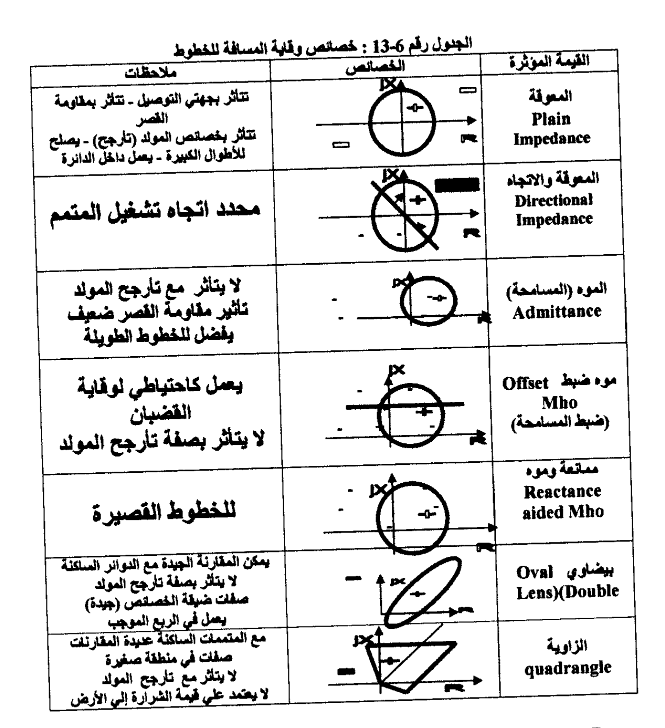
TC

الشكل رقم 6-15: دائرة الوقاية لزيادة التيار

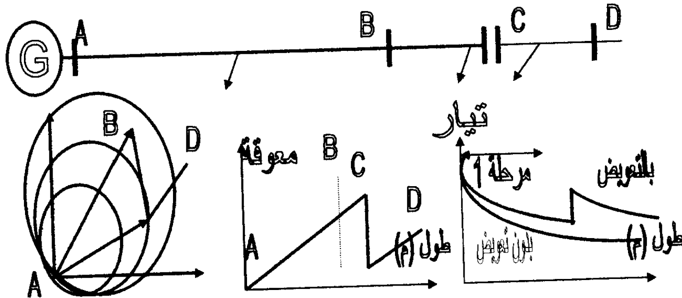
2- وقاية المعوقة أو الممانعة Impedance

الخصائص الفنية لقياس المعوقة هامة لتحديد المسافات التي عندها القصر ونجد أن ما نراه في الشكل رقم 6-16 فهو عبارة عن خصائص متمم الموه مع خطوط بها تعويض السعة والمحدد به مراحل الفصل بتلك الدوائر المحورية معا ويكون التشغيل عاديا خارج الدائرة وإذا ما انتقلت نقطة العمل من الخارج إلي الداخل كان لازما الفصل ويكون فوريا في المرحلة 1 وهي أصغر دائرة بينما يزيد الزمن في المرحلة 2 ثم يزيد في المرحلة الأخيرة من مراحل التدرج في الفصل وقد تعطي متممات الممانعة تمييزا أفضل في مثل هذه الحالات، ويمكننا المقارنة مع ذلك المتمم بالمعوقة كما جاءت خصائصه في الشكل رقم 6-11. ينظم الجدول رقم 6-13 كافة البيانات الهامة لوقاية المسافة .

الجدول رقم 13-6 : خصائص وقاية المسافة للخطوط



القيمة المؤثرة	الخصائص	ملاحظات
المعوقة Plain Impedance		تتأثر بجهتي التوصيل - تتأثر بمقاومة القصر تتأثر بخصائص المولد (تأرجح) - يصلح للأطوال الكبيرة - يعمل داخل الدائرة
المعوقة والاتجاه Directional Impedance		محدد اتجاه تشغيل المتمم
الموه (المسامحة) Admittance		لا يتأثر مع تأرجح المولد تأثير مقاومة القصر ضعيف يفضل للخطوط الطويلة
موه ضبط Offset Mho (ضبط المسامحة)		يعمل كاحتياطي لوقاية القضبان لا يتأثر بصفة تأرجح المولد
ممانعة وموه Reactance aided Mho		للخطوط القصيرة
بيضاوي Oval Lens)(Double		يمكن المقارنة الجيدة مع الدوائر الساكنة لا يتأثر بصفة تأرجح المولد صفات ضيقة الخصائص (جيدة) يعمل في الربع الموجب
الزاوية quadrangle		مع المتممات الساكنة عديدة المقارنات صفات في منطقة صغيرة لا يتأثر مع تأرجح المولد لا يعتمد علي قيمة الشرارة إلي الأرض



الشكل رقم 16-6 : خصائص متمم المعوقة مع خطوط بها تعويض السعة

تعمل هذه القيمة بشكل فعال مع خطوط الجهد الفائق 500 أو 750 أو 1150 ك. ف. حيث نري في الشكل رقم 6- 16 التصرف العام مع الخط بالتعويض المعتمد علي محطة سعة علي التوالي في الخط وهو ما يظهر الخصائص بوجودها أو لا لبيان الفرق بين الوضعين، ولهذا نحتاج إلي المتمم R2 في الاتجاه العكسي كضرورة للتركيز علي الخلل في قياس قيمة المعوقة عند وجود قصر بعد السعة وبالتالي تظهر خصائص العمل.

مثال 6- 3:

في الشكل رقم 6 - 17 والممثل لخط كهربي بطول k حيث حدث قصر عند النقطة F علي الخط مقاسة من نقطة الإرسال .S. E علما بأن متمم الوقاية قد تم تشغيله عند نقطة الإرسال .S. E . من المعطيات المرافقة:

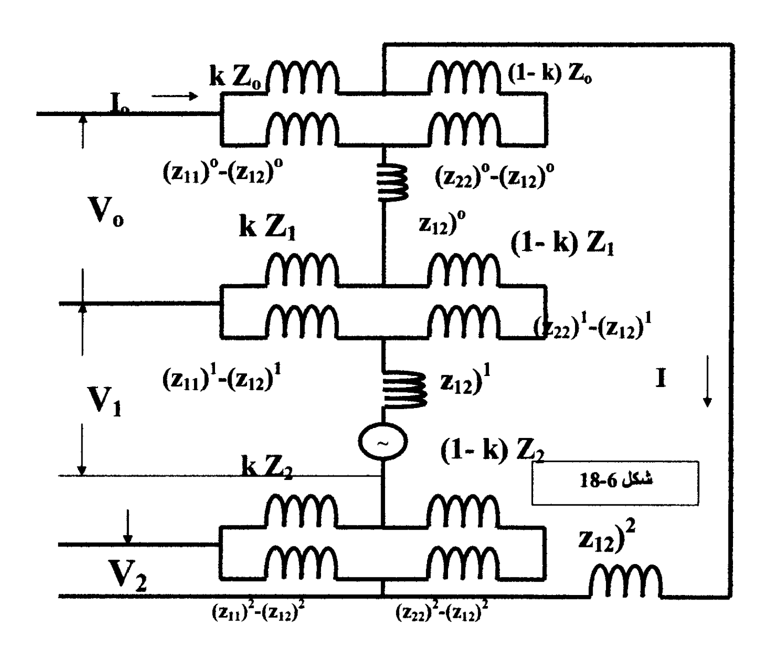
S E　　　F　　　R E

الشكل رقم 6- 17

$$Z_o = 3 Z_1 \;\; \& \;\; (z_{11})^o = (z_{22})^o = 0.3 Z_1 \;\; \& \;\; (z_{12})^o = 0.2 Z_1$$

$$(Z_{11})^1 = (z_{11})^2 = (z_{22})^1 = (z_{22})^2 = 0.4 Z_1 \;\; \& \;\; (z_{22})^1 = (z_{22})^2 = 0.3 Z_1$$

المطلوب حساب قيمة التي تكون حساسة لحدوث القصر بين الطور والأرض علي الطور a.



شكل 6-18

الحل:

يمكن حساب المركبة الصفرية للتيار علي النحو:

$$I_o = \frac{(1-k)\,Z_o + (z_{22})^o - (z_{12})^o}{Z_o + (z_{11})^o - (z_{12})^o + (z_{22})^o - (z_{12})^o}\; I$$

$$I_o = \frac{(1-k)\,3\,Z_1 + 0.1\,Z_1}{3\,Z_1 + 0.1\,Z_1 + 0.1\,Z_1}\; I$$

$$I_o = (0.969 - 0.938\,k)\,I$$

بالمثل نحسب المركبة الأولي (الموجبة) والثانية (السالبة):

$$I_1 = (0.917 - 0.833\,k)\,I \qquad \& \qquad I_2 = I_1$$

ننتقل لحساب قيمة التيار الطوري في الطور الحادث به القصر فنحصل علي:

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = (2.803 - 2.604\,k)\,I$$

ثم نحسب المعوقة في الطور المقصر (الشكل رقم 6 - 18):

$$Z_a = k\,Z_1 + k\,(Z_0 - Z_1)\,(I_0 / I_a)$$

عند نهاية الخط تكون المعوقة الطورية هي $Z_a = 1.312\,Z_1$ & at $k = 1$

$$Z_a = \left\{k + 2k\,\frac{0.969 - 0.938\,k}{2.803 - 2.604\,k}\right\} Z_1$$

أما في منتصف الخط تصبح المعوقة بالقيمة

at $k = 0.5$ $\qquad Z_a = 0.833\,Z_1$

بالتالي تكون نسبة المعوقة عند منتصف الخط المقصر إلي المعوقة الكلية هي:

$0.833\,Z_1 / 1.312\,Z_1 = 0.635$

مما يوضح أن النسبة بين طول الخط وقياس المقاومة ليس خطيا أي أن هذه النسبة بين منتصف الخط والطول الكلي كمعوقة ليست منصفة أي أنها تنحرف عن القيمة 0.5 ولكنها تزيد قليلا.

G

Line 1

ZoM

x

F

الشكل رقم 6 - 18 (1): دائرة الخطأ مع الأرض لأحد خطين متوازيين

3- وقاية ضبط الجهد Voltage

هذا الضبط قد يكون تحديدا لزيادة الجهد حفاظا علي مستوى العزل أو انخفاضه خوفا علي استقرار الشبكة أثناء التشغيل ومتمم وقاية زيادة الجهد يختلف عن مفرغات الشحنة المعتادة للقضاء علي الموجات المسافرة عبر الخطوط أثر ضرب الصاعقة لأحد أوجه الخط أو حتى السلك الأرضي فينتقل بالتأثير بجزء نسبي أقل إلي الأوجه ولكنه يظل هائلا في القيمة وخطيرا في التأثير.

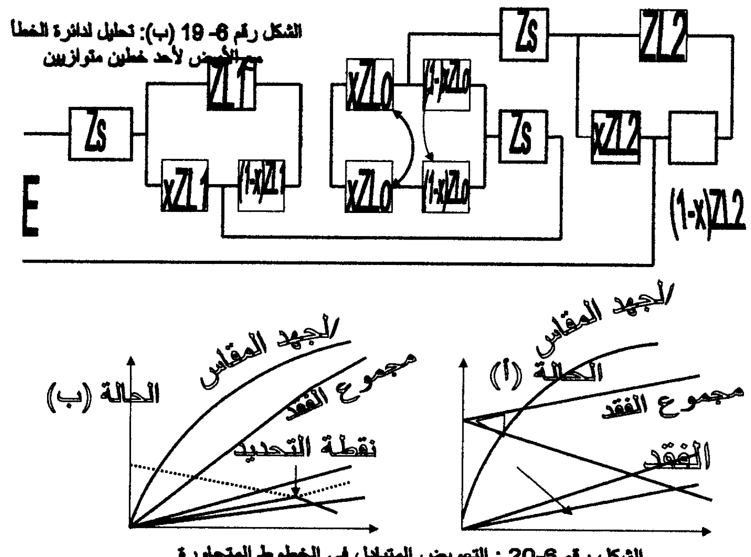
4- وقاية الخطوط بالذبذبات العالية HF Protection

من الممكن أن يتم هذا بالموجات عالية التردد سواء كانت موجات الراديو (مدى 1000 – 3000 ميجا هيرتز) لوقاية المغذيات أو الكاريير للخطوط الطويلة وحديثا يدخل معهما أو بدلا منهما شبكة الحاسب الآلي.

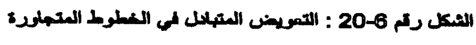
5- وقاية تجاوز الحمل بالفصل المتأخر

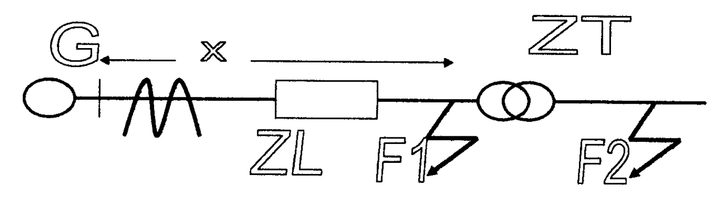
ذلك لأن الفصل المتأخر هو عبارة عن وقاية احتياطية وهي عادة تتراوح في حدود الدقائق ولذلك فهو فصل متأخر جدا ويصلح ذلك مع ضبط التيارات الصغيرة في مستوى القصر علي المتممات تحديدا وفي دوائر الوقاية عموما.

أما عن الخطوط المتوازية Parallel Lines كما في الشكل رقم 6- 19 حيث الرسم الخطي للشبكة وبها كابلات متوازية بجانب الدائرة المكافئة لربط المركبات الثلاث (الموجبة والسالبة والصفري).



الشكل رقم 6- 19 (ب): تحليل لدائرة الخطأ مع الأرض لأحد خطين متوازيين


الشكل رقم 6-20 : التعويض المتبادل في الخطوط المتجاورة



الشكل رقم 6-21 : محول ومغذي مع الضبط للحالات الانتقالية

يظهر من الحالة الأولي أن:

(أ) تعطي منطقة التشغيل السيئ عند قيام المتمم علي الخط 1 بعمله وهذا يتحدد في بداية الرسم بين خطي مجموع الفقد والجهد المقاس بينما في الحالة الثانية

(ب) يختفي هذا العيب حيث أن الصفات محددة وأختفي وجود هذا الخط المعبر عن مجموع الفقد من الرسم تماما.
يأتي المعامل فقد الوصول under reach في حالة الخطوط المتوازية قد ظهر علي نقيض الخط المستقل وهو

$$\text{under reach} = Z_{line2}\,(\text{inside}) \times I_{Fline2} / I_F \qquad (6\text{-}8)$$

من ثم نصل إلي المعامل المئوي لفقد الوصول علي النحو

$$\textit{under reach\%} = \textit{under reach} / \textit{relay reach} \qquad (6\text{-}9)$$

هذا التشبع أو النقص في تشغيل المتمم ذاته يكون هاما مع الحالات الفجائية وهكذا يعطي الشكل رقم 6- 21 شبكة كهربية تتكون من مغذي ومحول لحمل ونرى في الجدول رقم 6- 14 الضبط اللازم مع التشبع الزائد تبعا لتغير قيمة النسبة (معوقة المحول / (معوقة المنبع + معوقة الخط)) بين 0.25 و 8 حيث قيمة الضبط Ix هي 1.2 × (1+ التشبع للحالات الفجائية بالوحدة Transient Over Reach) تيار القصر عند F2.

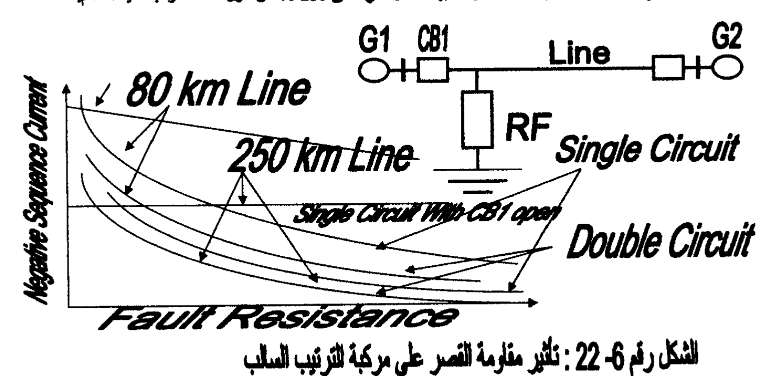
جدول 6-14: نسبة ضبط المتممات (Is/IF1) مع الاعتبارات الفجائية في التشبع الزائد %

100	50	25	5	تشبع الفجائية (%)
1.92	1.44	1.2	1.01	0.25
1.6	1.2	1	0.84	0.5
1.2	0.9	0.75	0.63	1
0.8	0.6	0.5	0.42	2
0.48	0.36	0.3	0.25	4
0.27	0.2	0.17	0.14	8

يمكن ربط وقاية التيار كقيمة الترتيب السالب مع قيمة مقاومة القصر بشكل الإطار المبين في الشكل رقم 6-22 حيث يربط الخط بين مولدين وتتغير هذه المقاومة التي تمثل مدى شدة الاتصال مع نقطة القصر.

مثال 6- 4:

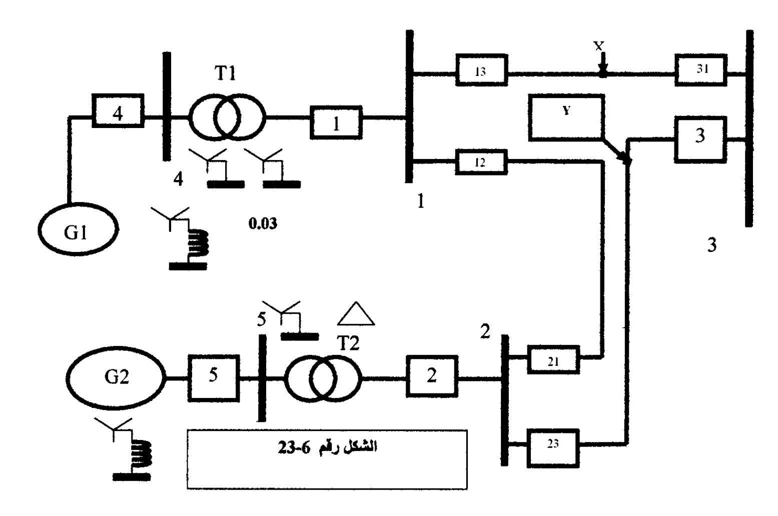
في الشكل رقم 6 - 23 والخاص بشبكة كهربية حيث أن الخطوط الثلاثة متماثلة (230 kV Base , 100 MVA Base , $Z_{p.u} = j$ 0.1) مع إعتبار أنه يتم التحكم في الستة قواطع بالشبكة بواسطة وقاية المسافة المرحلية مع استخدام متمم الإتجاه كما هو واضح في دائرة الوقاية بالشكل رقم 6- 23، تم تركيب مرحلات المسافة بمراحل ثلاث موزعة بحيث المرحلة الأولي تغطي 80 % من طول الخط والمرحلة الثانية تغطي 120 % أما المرحلة الثالثة والأخيرة فتعمل علي نطاق 250 % من طول الخط المركب عليه المتمم.



الشكل رقم 6- 22 : تأثير مقاومة القصر علي مركبة الترتيب السالب

إذا ما حدث قصر ثلاثي متماثل إوجد:
أ) قيمة ضبط Z_r لكل متممات المسافة بنظام الوحدة
ب) إذا كانت محولات الجهد بمقنن 133 ك. ف. / 115 ف. ومحولات التيار بمقنن 400 / 5 أ مطلوب قيمة هذا الضبط بقيمة الأوم
ج) التعقيب مع المناقشة لتشغيل المتمم إذا ما حدث قصر عند النقطة x حيث أنها تبعد 10 % بعد TL31 من القضبان رقم 3

الحل:



الشكل رقم 6-23

نبدأ بفرض القيمة الأساسية للحسابات بنظام الوحدة وبالتالي نضع الدائرة المكافئة للمركبات التيارية (الشكل 6-24):

100 MVA Base & 230 kV Base

وذلك بناء علي الرسم الخطي لدائرة الوقاية علي النحو المبين في الشكل 6-23 حيث نجد معني الرموز محددا في الجدول رقم 6- 15.

الجدول رقم 6- 15: رموز الوقاية المستخدمة

الرمز	المعني	الرمز	المعني
Z1	مرحلة أولي للمتمم	T2	متمم زمني للمرحلة الثانية
Z2	مرحلة ثانية للمتمم	T3	متمم زمني للمرحلة الثالثة
Z3	مرحلة ثالثة للمتمم	B	إلي المتمم الرئيسي Master Relay
D	متمم إتجاه	S	متمم التأكد Seal in Relay

معوقة المرحلة الأولي Z1 تمثل 80 % من طول الخط الكلي أي =

$0.1 \times 0.80 = 0.08$

معوقة المرحلة الثانية Z2 تمثل 120 % من الطول الكلي للخط

ومن ثم تساوي $0.1 \times 1.20 = 0.12$

معوقة المرحلة الثالثة Z3 تمثل 250 % من الطول الكلي للخط

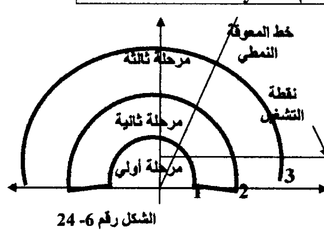
ومن ثم تساوي $0.1 \times 2.50 = 0.25$

نظرا للتماثل الواضح بين كل المتممات الستة سيكون الضبط واحدا للجميع متماثلا أيضا ثم:

الجهد الأساسي Phase Voltage Base لقيمة الجهد مع نقطة التعادل هي = $230 / \sqrt{3} = 133$ ك. ف.

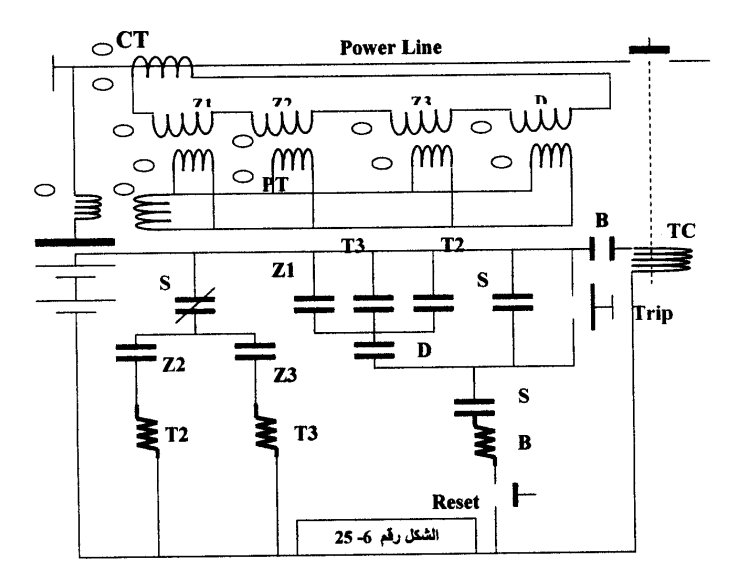
التيار الأساسي Phase current Base المتواكب معه = $100 / (\sqrt{3} \times 0.23) = 25$ أ

الجهد الثانوي Secondary Voltage Base لمحول الجهد



الشكل رقم 6- 24

(الأساسي) = 133 (115 / 133) = 115 ف.
التيار الأساسي للدائرة الثانوية Secondary current Base يصبح = 251 × (5 / 400) = 3.14 أ
المعوقة الأساسية للثانوي Secondary impedance Base = 115 / 3.14 = 36.7 أوم
بالتالي تكون المعوقة للمراحل الثلاثة 3 Zones لتشغيل متمم المسافة علي النحو:
معوقة تشغيل المرحلة الأولي Z1r = 0.08 (36.7) = 2.93 أوم
معوقة تشغيل المرحلة الثانية Z2r = 0.12 (36.7) = 4.4 أوم
معوقة تشغيل المرحلة الثالثة Z3r = 0.25 (36.7) = 9.16 أوم



الشكل رقم 6- 25

التعليق والمناقشة:

القاطع رقم B13 والقاطع رقم B31 يفصلان القصر كما يجب إضافة إلي القاطعين B1& B4 حيث يجب ان يكون لهما تنسيق مع القاطع B13 كي يتم ترتيب الفصل بينهم حتي يكون بالترتيب الصحيح وهو B13 ثم B1 ثم B4 مع الأسرع إلي الأبطأ وبالمثل نجد أن القواطع B13 و B31 وB23 يفصلون قبل القاطعين رقم B2 & B5
للقصر short circuit المحسوب نجد الآتي:
القاطع B31 يقع في المرحلة الأولي وبالتالي يعمل فورا حال القصر في المرحلة الأولي
القاطع B32 له وحدة إتجاه وبالتالي يتوقف عن العمل
يفصل أولا B31 وتؤخر الفصل إذا كان القصر في المرحلة الثانية B23 حتي يمنع القاطع رقم B23 من الفصل
بالنسبة للقاطع B21 فان القصر خفيف وهو واقع في المرحلة الثالثة وقد لا يحس به المتمم وحتي إتجاه توقف الفصل للقاطع B12 لأنه في المرحلة الثانية.
القاطع B13 يؤخر الفصل له إذا كان القصر في المرحلة الثانية (خارج المنطقة مباشرة)

مثال 6- 4:

في الشكل رقم 6 - 25 والممثل لشبكة كهربية حيث تم تركيب مرحلات المسافة في الحالتين علي الأطوار الثلاثة وبوضع متمم الأرضي عند القضبان Bus رقم 1 (نهاية الخط TL13)، المطلوب:

أ) إيجاد المعوقات التي يراها المتمم لأنواع القصر الأربعة إذا حدث قصر علي القضبان رقم 3

ب) حساب قيمة ضبط معوقة المتمم علي الوجه وعلي الأرضي للوصول بقيمة 100 %

ج) التعقيب علي مدي حساسية المتمم للأنواع المختلفة من القصر.

الحل: النتائج قد سجلت في الجدول رقم 6-16.

الجدول رقم 6-16: نتائج القصر (الجهد والتيار) علي القضبان رقم 3 لجميع أنولع الخطأ عند القضبان رقم 1 (TL13)

القيمة	التيار						الجهد					
sequence	0		1		2		0		1		2	
المحسوب	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية
3	0	0	2.86	-90	0	0	0	0	0.286	0	0	0
L – E	0.81	-90	0.91		0.91	-90	0.12	180	0.77		0.23	180
2L-E	0.78	90	1.87		0.99	90	0.11	0	0.53		0.25	0
L-L	0	0	1.43		1.43	90	0	0	0.64		0.36	0
Y	A		B		C		A		B		C	
	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية
3	2.86	-90	2.86	150	2.86	30	0.29	0	0.29	-120	0.29	120
L – E	2.63		0.1	90	0.1	90	0.426		0.95	246	0.95	114
2L-E	0.1		2.76	154	2.76	26	0.89		0.37	220	0.37	140
L-L	0	0	2.48	180	2.48	0	1		0.56	206	0.56	154
DELTA	AB		BC		CA		AB		BC		CA	
	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية
3	2.96	-60	2.86	180	2.86	60	0.29	30	0.29	-90	0.29	150
L – E	1.58	-90	0		1.58	-90	0.69	47	1		0.69	133
2L-E	1.62	-28	2.86		1.62	28	0.69	12	0.28		0.69	168
L-L	1.43	0	2.86		1.43	0	0.88	9	0.28		0.88	171

6-4: المحركات الكهربية Electric Motors

تظهر أهمية شديدة لدوائر المحركات لأنها تختلف عن دوائر الإضاءة أو التطبيقات الأخرى وهي تحتاج إلي عناية خاصة كي نصل إلي أقصى درجات الأمان وأعلي اعتمادية مع أقل حيود في هبوط الجهد علي المغذيات أو المحركات وبأقل فقد حراري ممكن وبأقل تكلفة تركيب مع البساطة والسهولة في التشغيل والصيانة والسماحية بالتطوير والامتداد مستقبلا. تستعرض هنا المحركات في الشبكات الكهربية للعديد من الأعطال ووسائل الوقاية اللازمة وهي ما يمكن إيجازها علي النحو القادم.

1- أعطال خارجية External Faults

الأعطال الخارجية تتمثل في بعض العيوب أثناء تشغيل الشبكة الكهربية ومنها:

أ) تشغيل علي وجه واحد أو وجهين single phasing

ب) عدم اتزان الجهد Unbalanced System

ج) هبوط الجهد Under Voltage

د) عكس أحد الأوجه في البدء Reverse Phase

هـ) قطع أحد الموصلات Open Phase

و) فقد التزامن Loss of Synchronism

الشكل رقم 6-26 : وقاية زيادة التيار للمحرك

هذه الحالات جميعا تعتبر من العوامل ذات الخطورة علي تشغيل المحرك بل وقد تصل به إلي التدمير.

2- أعطال داخلية Internal

إن الأعطال كثيرة في المحركات ويمكن أن نختصر أهمها في العيوب الميكانيكية Mechanical مثل نسبة السماح في الكراسي bearing أو رولمان البلي أو عيوب تصنيع manufacture مثل مستوى العزل للملفات insulation سواء مع العضو الدوار أو

الثابت أو عيوب استعمال Bad Use مثل تجاوز الحمل Over Load أو عيوب صيانة maintenance كاتصال أحد أطراف الملفات مع الأرض. لذا يلزم حماية المحركات عن طريق دوائر الوقاية والتي تعتمد علي البيانات الأساسية للمحرك.

3- البيانات الأساسية للمحركات Basic Data

تتحصر هذ البيانات في عدد من المقننات والخصائص وهي:

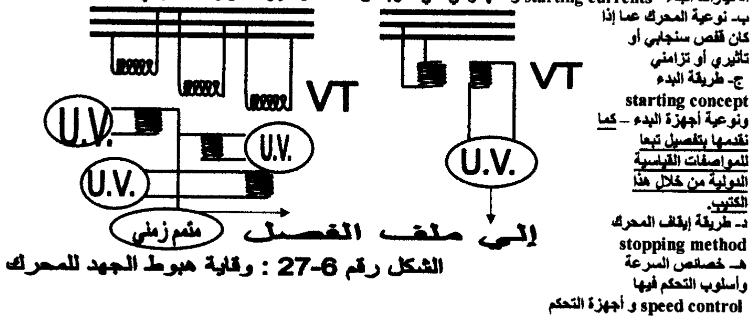
أ- تيارات البدء starting currents ومدتها وهي التي تقترب من ستة أمثال التيار المقنن ولمدة 5 ثواني

ب- نوعية المحرك عما إذا كان قفص سنجابي أو تأثيري أو تزامني

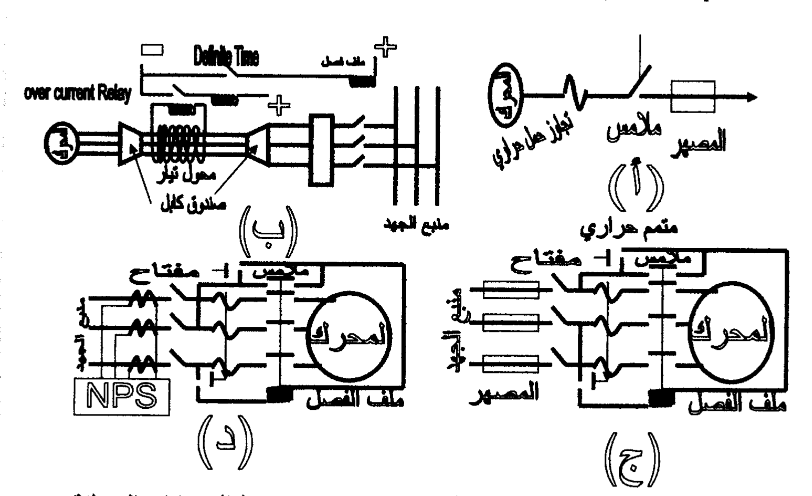
ج- طريقة البدء starting concept ونوعية أجهزة البدء – كما نقدمها بتفصيل تبعا للمواصفات القياسية الدولية من خلال هذا الكتيب.

د- طريقة إيقاف المحرك stopping method

هـ- خصائص السرعة وأسلوب التحكم فيها speed control و أجهزة التحكم



الشكل رقم 6-27 : وقاية هبوط الجهد للمحرك



الشكل رقم 6-28: دوائر وقاية المحركات المختلفة

و- نوع الأحمال المحتملة أثناء التشغيل

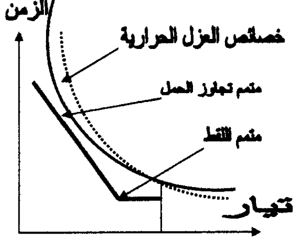
7- المقننات الأساسية وهي الجهد والتيار والقدرة

4- وسائل الوقاية Protection Concepts

أما عن وسائل الوقاية للمحركات فإنها تنقسم إلي نوعين:

النوع الأول: هو المستخدم في دوائر المحركات البسيطة صغيرة الحجم (حتى 150 حصان) وهي عادة تعتمد علي المصهر عالي القدرة HRC وهو الملائم للمحركات حتى 1 ك. ف.، كما أن اختيار هذا المصهر يعتمد علي مقنن المحرك وله جداول متداولة تبعا للمواصفات القياسية وهي كلها مؤسسة علي 6 أمثال التيار المقنن ولمدة 5 ثواني، كما يضاف عادة وسيلة وقاية لتجاوز الحمل وهي الوسيلة الحرارية، أما بالنسبة للجهد 6.6 ك. ف. فيضاف الفصل عند زيادة التيار.

النوع الثاني: يختص هذا النوع بالمحركات الكبيرة والصغير منها نسبيا وللجهد 6.6 ك. ف. أو أكثر تعتمد علي القاطع الكهربي والذي عادة ما يكون هوائيا أو زيتيا كما نحتاج إلي الوقاية التفاضلية أم الأحجام الأكبر فهي ما يجب أن تعتمد علي قاطع التيار وملحقاته من منظومة الوقاية التي تشتمل ، بجانب تلك المعتادة لوقاية المحركات الصغيرة، مثل:



أ) وقاية هبوط الجهد (إنخفاض الجهد) Under Voltage

ب) وقاية زيادة التيار (تيار القصر) Over Current

ج) وقاية فقدان الجهد Voltage Lost

د) وقاية تجاوز الحمل Over Load

هـ) وقاية ضد عكس إتجاه الحركة Phase Sequence Condition

و) وقاية ضد سقوط أحد الأطوار المغذية للجهد Double Phase Operation

الشكل رقم 6- 29 : الفصل التلقائي في المحركات

أن وقاية زيادة التيار تتم بناء علي قياس التيار في وجهين كما في الشكل رقم 6-26 ويمكن استغلال تواجد دائرة وقاية ليضاف إليها وقاية الفرق بين التيارين (التيار الأرضي إلي حد ما)، وتصبح دائرة وقاية مزدوجة الهدف وهذه الدائرة من الممكن أن تعمل علي التيار المستمر أو التيار المتردد (نفس المصدر) وبنفس الأسلوب بوضع محول الجهد بين وجهين فقط ليعطي وقاية هبوط الجهد كما يمكن استخدامه علي الثلاث أوجه وكلاهما يعمل بكفاءة ولكن ثلاثي المتممات يكون أفضل في المحركات الهامة (الشكل رقم 6-27).

أسباب عدم اتزان الجهد وهو أكثر الأخطاء شيوعا هي:

أ) تحميل غير متماثل علي أطوار المحول المغذي للمحرك.
ب) أحد الأطوار مقطوع.
ج) مغير (منظم) الجهد علي أوجه المحول غير متماثلة.
د) معوقة أحد ملفات الأطوار في المحول المغذي غير متماثلة مع الآخرين وتكون عادة في حدود 1.6 – 6 % من المعوقة الكلية.
هـ) مكثفات بدء الحركة غير متماثلة.
و) منظم الجهد لا يعمل.
ع) خطأ في معايرة مغير الجهد.
ي) منظم الجهد بالمحول ضعيف.

الشكل رقم 6-30 : خصائص المحرك الحرارية

دوائر التشغيل والوقاية للمحركات أبسط من غيرها وهي مدرجة في الشكل رقم 6-28 حيث نري أربعة حالات ففي المحركات الصغيرة نري في الشكل (أ) أن تجاوز الحمل الحراري بجانب المصهر أساسيا خصوصا وأن الزيادة المستمرة في الحرارة تؤثر سلبا علي مستوى عزل الملفات ومع الزمن من الناحية الأخرى مما يستوجب العناية بمبدأ الوقاية الحرارية مع المحركات، بينما في الشكل (ب) نجد أن محولات التيار المحورية قد تستخدم للحفاظ علي تماثل الأوجه ولالتقاط أي قصر إلي الأرض مع استخدام متمم زمني محدد بوقت الفصل كحماية عند تواجد القصر مع الأرض.

جدير بالذكر أنه من حيث المبدأ لا يوصى بتأريض نقطة التعادل في المحركات تقليلا للمخاطر الناجمة عن زيادة مستوى القصر ويكون هاما متمم الوقاية من التيار الأرضي إذا كان تيار الأرض أكبر من 5 - 10 أ في الدوائر الصغيرة، أما الشكل (ج) فيعطي دائرة التحكم في تشغيل وفصل المحرك حيث يحصل ملف الفصل علي الجهد من المنبع وبالتالي يعطي الفصل المباشر بينما يستخدم كلا من الوقاية الحرارية لتجاوز الحمل بجانب زيادة التيار التي يغطيها المصهر لما له من مزايا عند التعامل مع دوائر المحركات. أخيرا مع الارتفاع بقدرة المحركات نحتاج إلي وقاية زيادة التيار بالزمن (شكل د) ليستعان بوقاية زيادة التيار بدلا من المصهر. ولذلك نجد المحركات في محطات الكهرباء تحتاج إلي منظومة معقدة تشمل دوائر الوقاية من القصر مع الأرض وهبوط الجهد وعدم الاتزان كما قد يستخدم أحيانا الوقاية التفاضلية لحماية المحركات من القصر بين لفات الملف وكذلك يمنع إعادة بدء تشغيل المحرك آليا بعد فصله وإن كان لازما فيجب التعامل مع متمم هبوط الجهد.

أن وقاية تجاوز الحمل تغطي بعضا من الأخطاء مثل:

أ) هبوط الجهد.

ب) التوصيل علي طورين single phasing حيث تصدر القدرة المطلوبة من وجهين فقط فتزيد من الحرارة مع ظهور الترتيب السالب.

ج) عدم بدء حركة الجزء الدوار stalling د) البدء فوق المقنن heavy starting.

هـ) استمرارية الحمل العالي.

و) الفرملة كما يجب أن خصائص الفصل التلقائي عن الخصائص الحرارية لعزل المحرك (الشكل رقم 6- 29).

يتأكد من الرسم الخصائص الحرارية للمحرك أعلي من متمم تجاوز الحمل أو بصفاته الأبعد عن هذه الخصائص وخصوصا مع المحركات الكبيرة مثل ذلك المحدد بمتمم اللقط pick up relay ويصلح مع كود التركيبات بالمناطق الخطرة حيث قابلية الانفجار أو الاشتعال.

تظهر الوقاية الحرارية مع عطب أحد أجزاء التبريد أو مع ارتفاع درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط أو بزيادة التحميل علي المحرك ،ويجب ضرورة الالتزام بمناطق التشغيل ومستوى خطورتها من حيث الانفجار أو القابلية للاشتعال ويحدد الجدول رقم 6- 17 مستويات العزل الكهربي تبعا للمواصفات وفيها أربعة مستويات.

الجدول رقم 6- 17: درجة الحرارة القصوى لمستويات العزل الحراري للملفات (%)

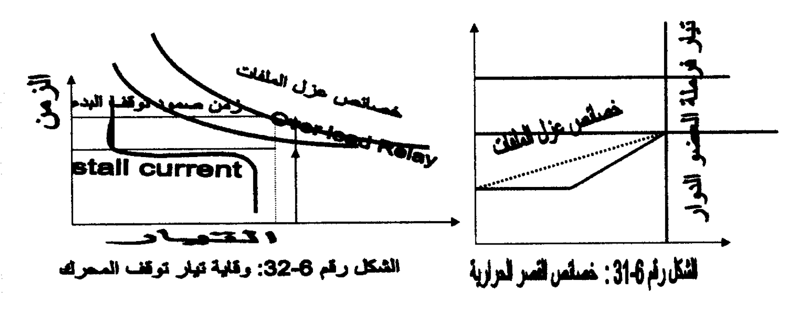
مستوى العزل	E	B	F	H
تواجد حراري مستمر	115	120	145	165
حرارة مستمرة	105	110	130	155
عند نهاية زمن الارتفاع الحراري	175	185	210	235

يأخذ الجدول رقم 6- 18 يأخذ مستوي العزل رقم F مثلا ويحدد داخله مستويات الحرارة حيث نجد تجاوز الحمل يعتمد علي البقع الحرارية (مصدر الحرارة) داخليا أو خارجيا مما يستلزم تواجد كاشف حراري ولا يسمح بأي زيادة حرارية أو استمرارها وهنا نجد النزول بعدد 10 درجات كلفن عن حدود الحرارة القصوى في التصميم للمناطق العادية يزيد من عمر الملفات وبالتالي المحرك إلي الضعف تقريبا مقابل بعضا من التكلفة وزيادة الحجم. كما يضع الشكل رقم 6- 30 الصفات الحرارية المصاحبة لمثل هذه التركيبات الخاصة بمناطق الخطورة ولذلك يتم اختيار المحركات لتغطية أفضل أداء دون أدنى خطورة ونري في الشكل رقم 6- 31 خواص أداء متمم بزمن الفصل المحدد وهو الملائم لمثل هذه الحالات.

الجدول رقم 6- 18: حدود مستويات الحرارة في مستوى العزل F

مستوى الحرارة	شرط	T1	T2	T3	T4	T5	T6
حرارة الاشتعال	<	450	300	200	135	100	85
أقصى حرارة بالسطح	>	450	300	200	135	100	85
ملفات بحرارة مستمرة	>	145	145	145	145		
ملفات بنهاية حرارية t_E	>	210	210	190	130	95	80

قد نجد الخصائص الحرارية لعزل ملفات المحرك هي التي تتفوق علي خصائص الفصل التلقائي ومن ثم يلزم عند اختيار ضبط متمم لمحرك أو المصهر اللازم لوقايته فيجب أن تكون صفاته الحرارية تحت المنحنى الحراري للملفات (الشكل رقم 6-31).



الشكل رقم 6-32: وقاية تيار توقف المحرك

الشكل رقم 6-31: خصائص القصر الحرارية

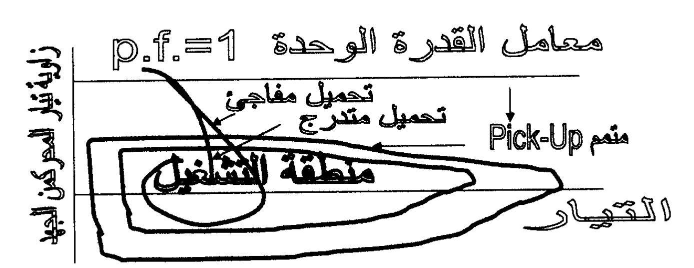
نظرا لأهمية البادئ في خصائص وقاية المحركات نقدم في الجدول رقم 6-19 بيانات الوقاية تبعا للمواصفات القياسية حيث نري في الشكل رقم 6-32 خصائص المتمم الذي يمكن أن يعمل حماية المحرك من قيمة ارتفاع التيار عند توقف المحرك عن البدء stalling

بحيث يمكن لحماية زيادة الحمل وقاية المحرك منه إذا ما زاد عن التيار المسبب للزيادة الحرارية وهو إما أن يقع فوق منحنى الحمل الزائد فيعمل المتمم أو تحته فلا يعمل لأنه دون القيمة الخطرة، وفي الجدول رقم 6-20 نجد المواصفات المرادفة للاستعانة بسكينة نجمة / دلتا في البدء.

الجدول رقم 6-19 : مواصفات البدء المباشر للمحركات 400 ف ، 50 هيرتز ، 3 أطوار

قدرة (ك. و)	تيار مقنن (أ)	مدى المتمم (أ)	أقصى/أدني مقنن للمصهر (أ)
7.5	13.6	20-13	25/50
9.4	17	20-13	25/50
11	20	30-20	35/80
15	28	30-20	60/80
18	35	45-30	60/100
22	40	45-30	60/100
26	47	63-45	80/125
30	55	63-45	80/125

بالنسبة للمحركات المتزامنة نجد أن الوقاية لابد وأن تشمل أيضا إضافة إلي ما سبق وقايتي التزامن وملفات المجال، أما عن الملفات فيجب وقايتها ضد الزيادة الحرارية thermal والتي تتسبب في تغيير السرعة نتيجة الانزلاق slip في السرعة فيظهر في صورة حرارية نتيجة تجاوز الحمل للتيار في الملفات وهو ما يؤكد وجود عيب في دائرة التحكم الخاصة بالمحرك control circuit أما عن وقاية التزامن فهي تتم من خلال التعرف علي خواص out of step متمم الخروج عن التشغيل المستقر في الشبكة (الشكل رقم 6- 33) ونري دائرة متمم فقد التزامن loss of synchronism في الشكل رقم 6- 34، كما يمكن إضافة هبوط الذبذبة أيضا.



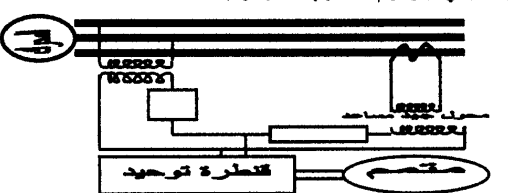
الشكل رقم 6- 33 : خصائص متمم فقد التزامن

الجدول رقم 6- 20: مواصفات بدء نجمة / دلتا للمحركات 400 ف، 50 هيرتز، 3 أطوار

قدرة (ك. و.)	تيار مقنن (أ)	مدى المتمم (أ)	أقصى / أدني مقنن للمصهر (أ)
15	28	20-13	60/60
18	35	20-13	60/100
22	40	30-20	60/100
26	47	30-20	80/100
30	55	45-30	80/125
37.5	66	45-30	100/125
44	80	63-45	100/160
55	95	63-45	125/160

6-5: وقاية القضبان Bus Zone Protection

تقوم القضبان بعمل جوهري كنقطة اتصال بين الجهات المختلفة داخل وخارج المحطة سواء كانت محطة توليد أو محولات وأي خطأ فيها يكلف الشبكة عبئا فوق الطاقة كي تحافظ علي اتزانها واستمرار تغذية الأحمال وغالبا ما تكون هناك مشاكل جانبية وتخص منظومة الوقاية وقد تتسبب في انهيار التغذية لمحولات التيار والجهد والدوائر الثانوية ككل وهذه القضبان تتعرض دائما للعديد من الأعطال نتيجة لأخطاء التشغيل أو غيرها كما هي مجدولة إحصائيا في الجدول رقم 6- 21 ولهذا تتطلب الوقاية:



أولا: السرعة

tripping speed

في الفصل لتقليل مستوي الدمار في الشبكة وكذلك الاعتماد علي الوقاية الاحتياطية للإبقاء علي استمرارية التغذية لباقي أجزاء الشبكة

ثانيا: الاتزان

Stability

يتم من خلال دقة أداء منظومة الوقاية خصوصا لمصاحبتها الظواهر التالية:

الشكل رقم 6-34: دائرة متمم فقد التزامن

1- فصل كل الدوائر الثانوية لمحولات التيار interruption of secondary circuits وهو ما يسبب عدم تماثل المنظومة بالشبكة وبهذا تفصل الأحمال تباعا بناء علي قيمة الضبط في المتممات وخصائص دوائر الوقاية بها

2- ظهور الصدمات والاهتزازات الميكانيكية mechanical vibration & shocks والتي من المحتمل أن تتسبب في تشغيل أي من المتممات علي سبيل الخطأ

3- إمكانية تواجد أخطاء تشغيل نتيجة لأعمال الصيانة

من هذا نجد ضرورة وضع القضبان كمنطقة كما في الشكل السابق في منظومة وقاية متكاملة تشتمل علي:

الدائرة الأولي: فرملة الاتجاه وهي ضرورية حتى لا يتم الفصل مع تلك الأخطاء التي لا تخص منطقة القضبان بل وتعطي الفرصة لغيرها من المتممات كي تعمل بأسلوب التأخير الزمني الهام في هذه الحالات

الجدول رقم 6-21: إحصائية عن نسبة الأخطاء علي القضبان

سبب الخطأ	L-E	2L-E	3L-E	3L	غير معروف	إجمالي	(%)
شرارة	20	6	1			27	21
عيب في القاطع	16	2	2			20	15.5
فقد عزل القضبان	19	2			1	22	17
فقد عزل غير القضبان	4	1	1	3		9	7
انهيار في CT	3					3	2.3
تشغيل سكينة خطأ	8	1	5	1		15	11.6
ترك التأريض بعد عمل ما	6	1	8			15	11.6
حالة تلامس	5		2			7	5.4
وقوع حطام	4	1		1		6	4.7
غير محددة	2	1		1	1	5	3.9
مجموع كل نوعية	87	15	19	6	2	129	
النسبة المئوية (%)	67.4	11.6	14.7	4.7	1.6		100

الدائرة الثانية: مقارنة الأوجه **Phase Comparison**

وهي وقاية هامة حتى لا نفقد الترتيب اللازم في تشغيل الشبكة

الدائرة الثالثة: الوقاية التفاضلية

قد سبق الحديث عنها

(أ) موقع يخرج CTمن وقاية القضبان

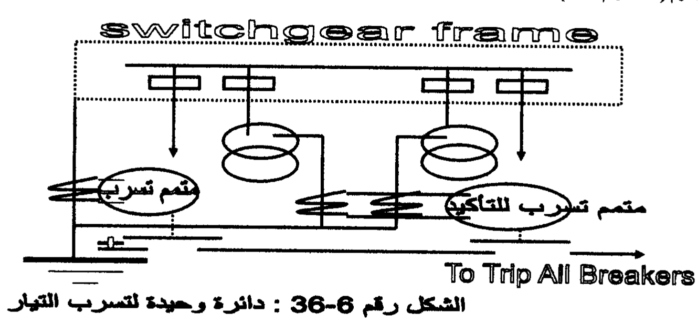
(ب) موقع يغطي وقاية القضبان

الشكل رقم 6-35 : مواقع محولات التيار المحتملة

الدائرة الرابعة: منظومة الوقاية الاحتياطية Back Up لتغطية القضبان من خلال وقاية الزيادة في التيار وفيها تدخل القضبان في الحسبان حسب التوصيل وكذلك وقاية المسافة وفيها دائما تدخل القضبان كمرحلة ثانية كي لا يتم الفصل تكرارا وبدون داعي كما يعطي الشكل رقم 6-35 بيانا توضيحيا لأهمية وضع محولات التيار في شبكات التوزيع والمحورية عموما وهو المبين في الشكل (ب) حيث نجد في الشكل (أ) الوضع الخاطئ لهذه المحولات والذي يفقد القدرة علي حماية القضبان إذا ما تم الفصل لزيادة التيار علي أحد المغذيات.

الدائرة الخامسة: منظومة وقاية التسرب الأرضي من الأجسام المعدنية Frame Leakage Current

هو ما يجعلنا أن نقوم علي تركيب محول تيار واحد علي الخط الواصل مع نقطة التأريض الصفرية حتى لا يتم تركيب محولات تيار علي كل جسم معدني وتكون النتيجة توصيلهم علي التوازي مما يقلل من كفاءة الأداء أو الحساسية الفعلية بها ولكن بأسلوب توحيد كل التسرب الأرضي في محول تيار واحد للمنطقة ككل (الشكل رقم 6- 36) يفيد أكثر ويكون أكثر دقة بجانب ألا تزيد مقاومة التأريض عن 10 أوم (الشكل رقم 6-37).

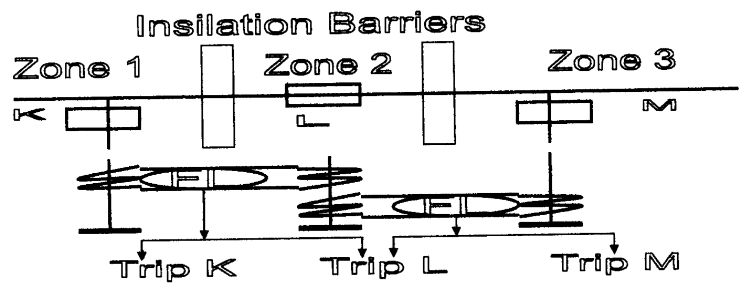


الشكل رقم 6-36 : دائرة وحيدة لتسرب التيار

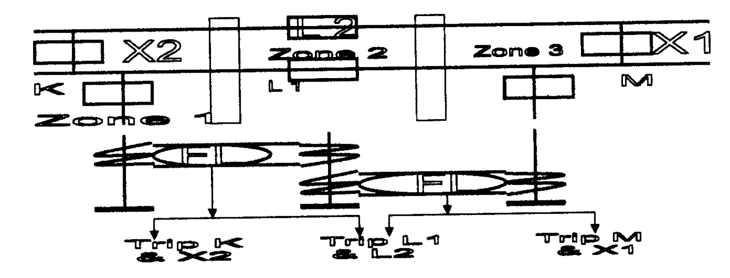
في هذه الحالة ومن الشكل حيث نجد توضيحا لتوزيع التيارات في هذه الحالة، وقد ينقسم القضبان المفرد إلي أجزاء فيكون الخط العازل أو الفاصل مبينا في الشكل رقم 6-38 وقد تكون القضبان مزدوجة فتكون كما في الشكل رقم 6- 39.
هكذا نري من الرسم أن المناطق المتعددة تعطي فرصة أكبر لاستمرارية التيار وتغذية الأحمال كما يمكن وضع سبل التمييز بين القطاعات المختلفة علي القضبان وهو ما يتم تطبيقه بالفعل في الشبكات الموحدة.

IF = I1 + I2
switchgear frame
Frame Bonding Bar
G
System Earth Resistor
Earth Bar
I1+I2
I1
I1
I2
Frame Insulation Earth Resistor
Earth Electrode Resistance

الشكل رقم 6-37: توزيع التيارات ومقاومة التأريض



الشكل رقم 6- 38 : نموذج قضبان مفرد بثلاث



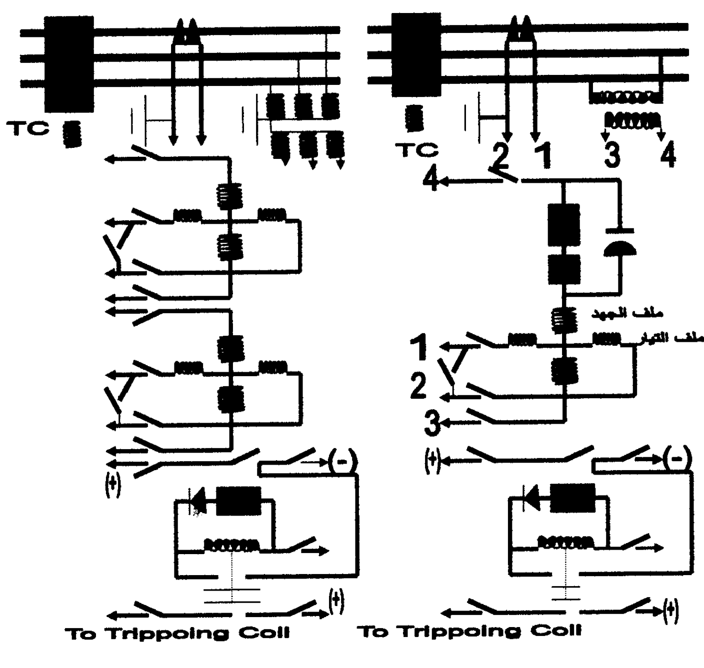
الشكل رقم 6-39 :أسلوب تأريض مع قضبان مزدوجة

شبكة الوقاية PROTECTIVE GEAR

من منطلق غير تقليدي نتوجه هنا إلي مفهوم خاص وأعمق عن الوقاية في الشبكات الكهربية فعادة في كل موقع سواء كانت محطة كهربية أو مصنع أو أي مكان آخر لا بد وأن تتكامل كافة الدوائر الكهربية داخل منظومة واحدة لكل من المعدات الكهربية مثل المحولات أو المولدات أو المغذيات أو غيرهم وهو ما سبق إيضاحه عن منظومة الوقاية في الفصل السابق، ثم يأتي الدور بعد ذلك عن التكامل بين هذه المنظومات معا في شبكة وقاية موحدة في كل موقع وهذا هو دور الفصل الحالي من الكتيب كي تتفاعل جميع المنظومات معا وتكون الوقاية أقرب ما يكون من الكمال وهو هدف موضوع الوقاية في الشبكات الكهربية وبهذا نحتاج إلي بعض الإضافات البسيطة بجانب ما سبق لنصل إلي مستوى الوعي المطلوب في شبكة الوقاية بالموقع وهو ما سوف نتناوله في السطور التالية.

7-1: الدوائر التكميلية في منظومة الوقاية

أن منظومة الوقاية تشتمل علي دائرة وقاية أو أكثر وفي بعض الأحيان كانت الدائرة الواحدة منها تحتوي علي أكثر من متمم وبذلك ظهر المتمم المساعد وأيضا محولات التيار والجهد المساعدة ومن أجل هذه النقاط وبجانب غيرها مما قد نحتاج فيه إلي المزيد من الشرح نضع هذا البند في سلسلة من المواضيع الرئيسية الهامة في منظومة الوقاية أو دائرة الوقاية ذاتها.



الشكل رقم 7-2 : متمم قدرة علي وجهين

الشكل رقم 7-1 : متمم اتجاه سريان القدرة

أولا: الوقاية الإتجاهية Directional Protection

تعتمد الوقاية الاتجاهية علي مبدأ الرجوع إلي مرجع أو كمية مرجعية ويقيس عليها الاتجاه ومن الممكن أن تكون زاوية تيار أو جهد أو غير ذلك ولهذا تتنوع هذه المراجع في متممات الاتجاه إلي نوعين هما أما مرجع واحد لكمية واحدة أو لكميتين وبالتالي يجب الاهتمام بعلامات القطبية polarity، أما عن الوقاية من هذا النوع فلا يمكن أن تستقل بدائرة وقاية ولكنها تدخل دائما علي التوالي مع متممات من نوع آخر كما سبق التوضيح في الفصلين السابقين ومن ثم تدخل متممات الاتجاه مع غيرها من المتممات وبتوصيل التوالي دائما لتتكون دائرة وقاية للكمية المختارة مع تحديد الاتجاه. يستخدم نوعي المتممات السابقة (كهرو مغناطيسية وساكنة) في هذه التطبيقات ويقدم الشكل رقم 7-1 متمم اتجاه علي وجه واحد بينما الشكل رقم 7-2 يعطي هذا المتمم علي وجهين بالاستعانة بالنوع الكهرو مغناطيسي بالنسبة لمتممات اتجاه سريان القدرة *Directional Power* *كما تستخدم* أنواع المتممات الساكنة الأساسية بكفاءة عالية مثل استخدام بلورات هول أو قنطرة التوحيد في المتممات الاتجاهية ، وتعمل هذه المتممات بزاوية حركة قصوى (مشوار) قياسية بالقيم 30 ، 45 ، 60 ، 75 ، 90° أو غيرهم أكبر في الزاوية وهذا يتيح فرصة لتسجيل الشكل الموجي عند حدوث الخطأ (القصر).

ففي متممات هول تقاس الزاوية بين كلا من التيار I والجهد V كما تتحول قيمة الجهد إلي القيمة التفاضلية (dV/dt) وتكون هي المدخل الأول مع التيار بينما يستقبل المدخل الثاني الجهد مع القيمة التفاضلية للتيار (dI/dt) أما المخرج فيكون الفرق بين المدخلين في الصورة

$$\text{Out put} = V\,(dI/dt) - I\,(dV/dt) \qquad (7\text{-}1)$$

يستعان أيضا بقنطرة التوحيد في هذا الصدد وقد سبق التعامل معها في الفصول السابقة وهناك متمم المقارنة الجيبي وهو الذي يعمل علي أساس أن الزاوية بين التيار والجهد هي المعيار حيث تقارن مع القيمة المرجعية للزاوية والتي عادة تكون 90° وهناك أيضا متمم المقارنة بالقيمة المؤسس علي المرجع كقيمة محددة لتحديد الاتجاه، كما تعمل الدوائر المتكاملة والرقمية دورا رئيسيا في هذا النطاق وبدأت تحل بسرعة محل كل المتممات من الطراز الديناميكي السابق لما لها من مزايا متعددة.

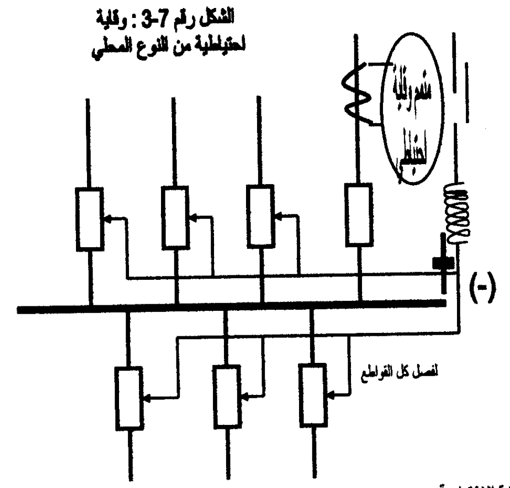
ثانيا: الوقاية الاحتياطية Back Up Protection

الوقاية الإحتياطية عبارة عن وقاية ثانية بجانب الوقاية الأساسية وهي بذلك تأتي في المرتبة الثانية من حيث التشغيل وليس الأهمية لأنها تعتبر مهمة تماما وعي نفس مستوى الأهمية مع الوقاية الأساسية. من ثم نجد أن الوقاية الأساسية قد تعجز أحيانا عن أداء عمل ما معين وبالتالي يتم إسناده إلي الوقاية الإحتياطية، أو قد تعجز الوقاية الأساسية تغطية الوقاية في مكان معين وبهذا تسند هذه المهمة إلي الوقاية الإحتياطية. هكذا نجد أن الوقاية الإحتياطية عبارة عن وقاية رئيسية ولكن إما لتغطية تمييز زمني أو تمييز مكاني أو تمييز نوعي كما سبق وظهرت هذه الأمور عند الحديث عن التمييز في الفصول السابقة.

تنقسم الوقاية الاحتياطية إلي نوعين هما:

الأول: الوقاية المجاورة Adjacent Back Up Protection

هذا النوع متبع وشائع الاستخدام وتعتمد عليه شبكات الوقاية علي وجه العموم ولكنه غير كاف لأنه معيب بالحساسية المنخفضة وهو متبع مع العديد من دوائر الوقاية مثل زيادة التيار وكذلك وقاية المسافة وقد سبق الشرح لهذه النوعية من قبل في الفصول السابقة.



الشكل رقم 7-3 : وقاية احتياطية من النوع المحلي

الثاني: الوقاية المحلية Local Back Up Protection

هذا النوع هو الأكثر دقة لأنه عالي الحساسية ويستخدم بصفة مستقلة للحماية ضد فشل أي من القواطع في أداء الفصل التلقائي فيعمل المتمم علي إصدار الأمر لكل ملفات الفصل لكل القواطع المشتركة مع القاطع كي يفصل جميع القواطع الأخرى لتحل محل القاطع المعيب فتفصل الدائرة المعيبة ويجب التأكيد علي تخصيص محول تيار مستقل لمثل هذه الوقاية كما في الشكل رقم 7-3 كما أن هذه النوعية من الوقاية تتميز بجانب الحساسية العالية بجانب ميزة الاختيارية.

ثالثا: إعادة التوصيل التلقائي

Automatic Re-closing

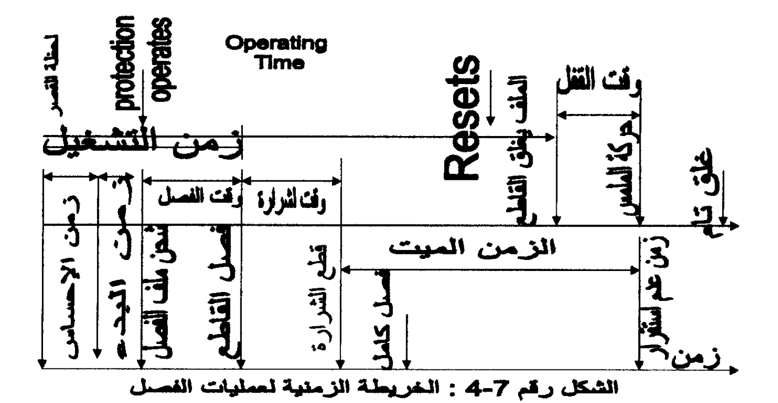
تؤكد الإحصائيات علي أن 80 – 90 % من الأعطال التي تتسبب في فصل الخطوط الهوائية علي الجهد العالي والفائق عبارة عن أخطاء وقتية عابرة من خلال الكسر الكهربي السطحي المؤقت علي العوازل أو تلامس الأجسام الغريبة الخارجية مع الأسلاك بشكل مؤقت بينما يمثل الباقي (10 – 20 %) إما أخطاء مستديمة أو تلك شبه المستديمة ولهذا يوصى بالتوصيل التلقائي بعد الفصل علي قصر للتأكد من أن العطل مؤقت ويبين الشكل رقم 7-4 الخريطة الزمنية للتابع التلقائي في عمليات الفصل والتوصيل بالشبكة في حالة إذا ما كان العطل مؤقتا transient fault وغير ثابت.

يظهر من الشكل 7-4 أن العلاقة الزمنية المحددة للأزمنة المختلفة الداخلية متعددة فنجد أن زمن الخلل بالشبكة وهو المحدد منذ لحظة الخطأ وحتى إعادة التوصيل الناجح وهو

System Disturbance Time= (Dead + Operating) Time (7-2)

نجد أن زمني التشغيل لكل من دائرة الوقاية والإحساس بالخطأ حتي يبدأ في عمله إنتهاءا بأن يصدر الأمر للمتممات كي تعمل فيبدأ الزمن اللازم لتشغيل المتممات وهو زمن التشغيل الثاني وهو ما ظهر في المعادلة رقم 7-2 وهو ما يتضح علي الخريطة في الشكل رقم 7-4، أما زمن التشغيل الثاني وهو الخاص بمنظومة الوقاية فهو

Operating Time=(Sensing +Opening+Arcing) Time (7-3)



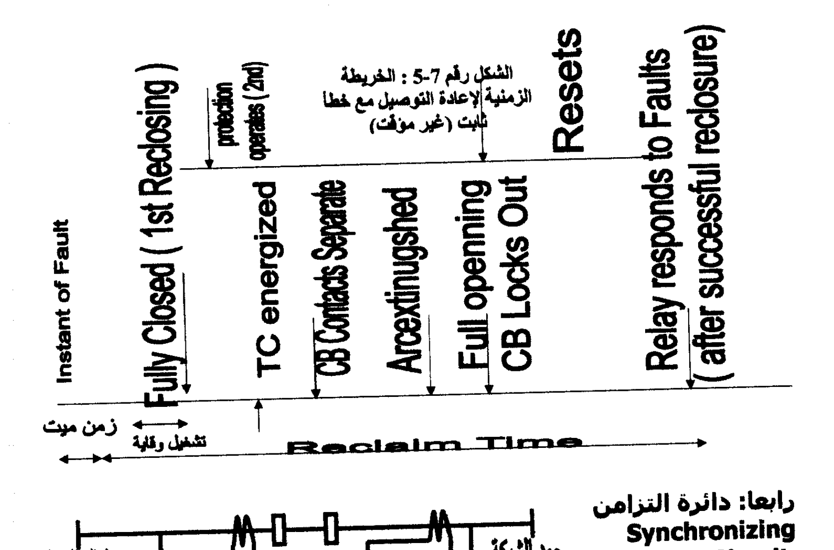
الشكل رقم 7-4 : الخريطة الزمنية لعمليات الفصل

يعبر الزمن الميت عن الوقت منذ انتهاء الشرارة بين ملامسات القاطع وحتى تكرار نفس اللحظة في حالة إعادة التوصيل التلقائي كما موضح علي الخريطة.

من الناحية الأخرى في حالة الأعطال غير المؤقتة أي الثابتة أو شبه الثابتة فتكون الخريطة الزمنية مكملة بعد تلك المنهية في الحالة المؤقتة (الشكل رقم 7-4) وتصبح لها امتدادا تلك الخريطة المبينة في الشكل رقم 7-5 فيبدأ الرسم هنا منذ التوصيل التلقائي الأول. هنا يكون الوقت الميت أكبر من ذلك في الحالة السابقة حيث يدخل في الحسبان مضافا إلي ذلك الوقت الميت السابق ذلك الزمن الخاص بتشغيل منظومة الوقاية في التوصيل التلقائي الأول وقد يقل عن ذلك بوقت التوصيل لملامسات القاطع في المرة التلقائية هذه ولهذا نجد أن خصائص ومواصفات القاطع المستخدم من أهم العلامات المميزة في نجاح عملية التوصيل التلقائي وما قد يسمح به من وقت أطول لإعادة التوصيل.

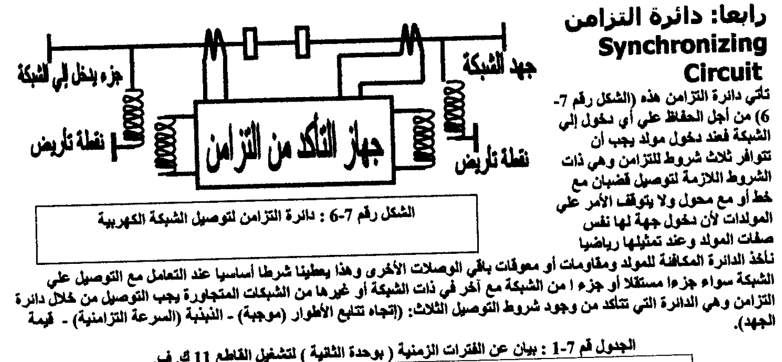
Full Operating Time = Operating Time + Mechanism Stop Time (7-4)

يعطي الجدول رقم 7-1 بيانا عن المدة الزمنية المقننة لنوعي مفتاحين قياسيين علي الجهد 11 ك. ف. حيث نجد الميزة الأكبر لزيادة المدة المسموح بها لإعادة التوصيل التلقائي.



الشكل رقم 7-5 : الخريطة الزمنية لإعادة التوصيل مع خطأ ثابت (غير مؤقت)

رابعا: دائرة التزامن Synchronizing Circuit



الشكل رقم 7-6 : دائرة التزامن لتوصيل الشبكة الكهربية

تأتي دائرة التزامن هذه (الشكل رقم 7-6) من أجل الحفاظ علي أي دخول إلي الشبكة فعند دخول مولد يجب ان تتوافر ثلاث شروط للتزامن وهي ذات الشروط اللازمة لتوصيل قضبان مع خط أو مع محول ولا يتوقف الأمر علي المولدات لأن دخول جهة لها نفس صفات المولد وعند تمثيلها رياضيا نأخذ الدائرة المكافئة للمولد ومقاومات أو معوقات باقي الوصلات الأخرى وهذا يعطينا شرطا أساسيا عند التعامل مع التوصيل علي الشبكة سواء جزءا مستقلا أو جزء ا من الشبكة مع آخر في ذات الشبكة أو غيرها من الشبكات المتجاورة يجب التوصيل من خلال دائرة التزامن وهي الدائرة التي تتأكد من وجود شروط التوصيل الثلاث: (إتجاه تتابع الأطوار (موجبة) - الذبذبة (السرعة التزامنية) - قيمة الجهد).

الجدول قم 7-1 : بيان عن الفترات الزمنية (بوحدة الثانية) لتشغيل القاطع 11 ك. ف.

بيان المدة	القاطع السولونويد	القاطع الباي
من بداية الفصل حتى بداية حركة الملامسات	0.06	0.06
من بداية الفصل إلي انتهاء الشرارة	0.1	0.1
من نهاية الشرارة إلي إعادة الوضع	0.1	0.08
من ضبط الميكانيزم إلي تلامس الملامسات	0.3	0.16
من ضبط الميكانيزم إلي التوصيل التام	0.32	0.18
من نهاية الشرارة حتي تلامس الملامسات	0.4	0.24

2-7: مصدر التيار المستمر D C SUPPLY

توجد بعض المعاملات الهامة للتعامل مع تصميم البطاريات أو التفضيل بينهم وهي: (معامل أمبير ساعة – معامل R_s المحدد لحجم الخلية اعتمادا علي طريقة القطب الموجب – معامل تقادم البطاريات K_s) حيث تحتاج دوائر الوقاية المختلفة ومن ثم منظوماتها (شبكة الوقاية) إلي التيار المستمر علي الجهود المتباينة وبقدرات مختلفة في الكثير من المواقع سواء العلمية أو الصناعية أو مواقع الخدمات فمثلا في المحطات الكهربية بكافة أنواعها مثل التوليد أو المحولات أو التوزيع بغرض الوقاية أساسا أو في العديد من المواقع الصناعية نكون في شدة الحاجة لها ويزداد هذا الوضع في الشبكات الصناعية حيث تتشعب الآليات وفي الكثير من الأعمال التكنولوجية وفي الأعمال العلمية والمعامل وغيرهم ولكننا الآن بصدد التيار المستمر في المحطات حيث أن هذا التيار المستمر يقوم علي خدمة الأحمال التالية:

1- شبكة الوقاية بالموقع protection gear

هي الدوائر ومنظومات الوقاية الداخلة معا لأداء التنسيق المتكامل في ما بينها فهي التي تتكون من كل المنظومات التي تخص وقاية كل المعدات والأجزاء بالشبكة الرئيسية وذلك بالرغم من أنها قد لا تسحب أحمالا عالية باستمرار ولكنها قد تسحب فجأة أحمالا فوق الطاقة المقننة وخصوصا مع حالات فصل القصر علي القضبان خصوصا وإذا كانت هذه القضبان غير مجزأة فتكون عدد دوائر الفصل التابعة لمنظومة وقاية القضبان كبيرا وتحتاج إلي تشغيل عدد ضخم منها في آن واحد ولذلك يجب أن تتسع قدرة هذه المحطات علي مثل هذه الحالات كي لا تخرج من منطقة الاتزان أثناء أداء الفصل التلقائي الشامل.

2- الأحمال الطارئة بالمحطة emergency loads

قد نحتاج إلي أحمالا طارئة أو إضافية في حالة انقطاع التيار الرئيسي عن الموقع فتكو ن الإضاءة الطارئة مثلا ولا يجوز بأي حال أن تتساوى هذه الأحمال مع تلك العادية ويجب أن تقل عن 10 % من المقنن الأصلي.

3- ملفات المجال (إن وجدت) field

هذه الملفات التي تغذي مجالات المعدات الكهربية الدوارة المتزامنة في النوع بحيث أن يكون مصدرها غير الأصلي المشغل لها أو المستخدم لها حسب الحالة.

4- دوائر الإنذار alarm circuits حيث تهمنا هذه الدوائر حال التغير في حالة التشغيل أو لوجود أي عطب في أي من المنظومات التي تخص الوقاية أو خلل في مصدر التغذية بالتيار المستمر ذاته.

5- ملامسات التحكم الخاصة بالقواطع
contactor control

إنها الملامسات التي تتواجد داخل الدوائر المختلفة والتي تتحكم في حركة الملامسات في بعض الأنواع من الملامسات وهي هامة جدا خصوصا للتشغيل الطارئ.

6- دوائر القياس والأمان والتأمين في بعض الدوائر
Measurement & Security

هذه الدوائر تكون هامة مع دوائر الوقاية من الأخطار أو لتأمين الدخول السليم إلي الموقع أو في التعامل مع أجهزة الجهد العالي أو الخطأ في التشغيل أو في بعض أجهزة القياس التي تحتاج إلي مصدر تغذية للحفاظ علي التشغيل المستمر السليم.

كما أن المحطات المغذية للتيار المستمر متباينة وهي إلي تنقسم إلي نوعين هما:

أولا: النوع المستقل Independent Type

يعبر هذا النوع عن مدى الاستقلالية عن التيار الأصلي ليرفع من اعتمادية التشغيل خصوصا وأننا نحتاج إلي التيار المستمر في لحظات خطرة وطارئة وهي فترات حدوث القصر أو الخلل في تشغيل الشبكة مما يستوجب الحصول علي القدرة من مصدر ذلك الذي قد يكون به عطب، ومن هذا المنطلق تأتي البطاريات في مقدمة الحلول الهندسية حيث أنها لا تعتمد علي المصدر الرئيسي للتغذية خصوصا في فترات حدوث القصر، وهذه المحطات تتكون من عدد كبير من البطاريات وهي تلك التي تتنوع إلي:

1- بطاريات حمضية lead acid

هناك طرزا متنوعة والتي يمكن أن تستخدم في هذا الوسط وتتنوع منها

(أ) نوع conventional floated type

(ب) نوع sealed gelled type

(ج) نوع sealed liquid-iminobilized type

2- بطاريات نيكل كاديوم Nickel Cadmium

تمثل هذه البطاريات من حيث التركيب وبالتالي الخصائص من جهة التشغيل والكفاءة الأفضل نوعية مقارنة مع غيرها إلا أنها معيبة من حيث التكلفة الاقتصادية لأنها الأعلى سعرا وتتكون من عدد من الطرز وهي:

(أ) نوع sealed cell

(ب) نوع vented cell

(ج) نوع pocket cell

يتحدد عدد الخلايا المطلوبة للجهد المحدد وهو في حالة المحطات الكهربية ذو مقنن 120 ف من خلال هذا الجهد فيكون تبعا للخصائص التي تعطي علاقة الشحن والجهد والمبينة فيما بعد حيث الجهد الأقصى يتبع:

الجهد الأقصى=عدد الخلايا المطلوبة×جهد الشحن (5-7)

بينما الجهد الأدنى يعتمد علي خصائص التفريغ بالصيغة:

الجهد الأدنى = عدد الخلايا المطلوبة × جهد التفريغ الأدنى (6-7)

من ثم يكون الجهد المحسوب لبعض من هذه الخلايا مدونا في الجدول رقم 7-2.
كما يظهر من الجدول أن مقنن الخلايا الحمضية هو2 ف بينما للخلايا نيكل كادميوم فهو 1.2 ف وإضافة إلي ذلك عادة في حدود 1.25– معامل التصميم F_d ويعادل 1.15 – معامل التصحيح الحراري K_T وهو عادة يساوي الوحدة لدرجات الحرارة المنخفضة. كما أنه من الضروري متابعة وصيانة هذه الخلايا بأسلوب دوري وذلك للتأكد من بعض القيم الهامة وتتضمن:

الجدول رقم 7- 2 : مقننات الجهد للخلايا بوحدات الفولت

نوع الخلايا	عدد الخلايا	جهد أقصى	جهد أدنى	جهد كلي (أدنى/ أقصى)
خلايا حمضية	60	2.33	1.75	170 / 105
خلايا نيكل كادميوم	100	1.52	1.14	152 / 114

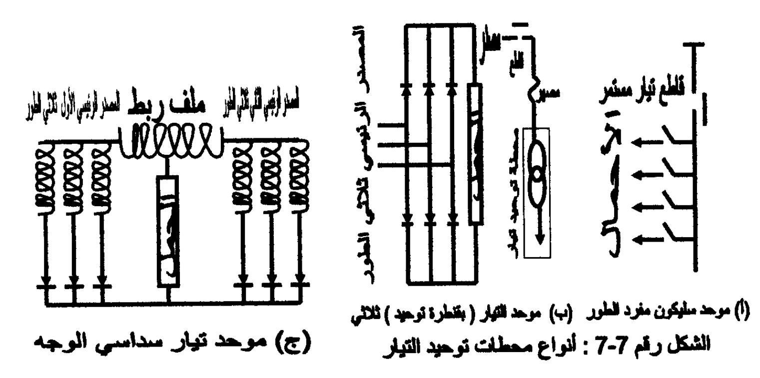
أ) نسبة الحموضة والكثافة النوعية
ب) الوزن النسبي
ج) درجة الحرارة
د) جهد الخلية

ثانيا: النوع غير المستقل Dependent Type

هنا نعتمد علي وجود مصدر التيار المتغير لنعتمد عليه في الحصول علي التيار المستمر منه مباشرة وبهذا نستطيع التعامل مع التيار المتردد بطريقتين هما:

الطريقة الأولى: محطات التوحيد Rectifier Station

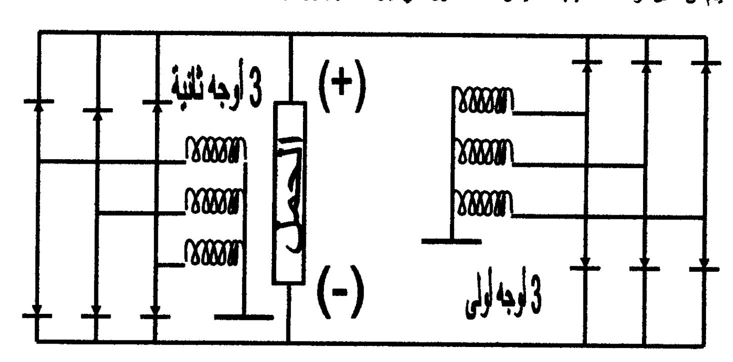
تأخذ محطات التوحيد للتيار (الشكل رقم 7-7) أشكالا مختلفة فمنها:



الشكل رقم 7-7 : أنواع محطات توحيد التيار

1- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من الطور المفرد (الشكل (أ))
2- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من ثلاثي الطور (الشكل (ب))
3- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من سداسي الطور (الشكل (ج))

تتعلق هذه المحطات المختلفة بقيمة التيار المستمر ومرشح الذبذبات العالية ويعطي الجدول رقم 7- 3 مزايا محطات التوحيد مع نظم التوزيع ثلاثية الأطوار وكذلك السداسية منها وقد تحددت القيمة كنسبة من الجهد المتوسط للتيار المستمر E عند اللاحمل وتيار الحمل I عليه إضافة إلي جهد الطور V_s بالنسبة للتيار المتردد ، كما نوضح أن أقصى جهد يعتمد علي حالة التحميل فمثلا إذا كانت حالة الدائرة المفتوحة فيكون الجهد الأقصى المنعكس هو $2(2)^{1/2}$ بالنسبة للشكل (ج) بينما عند الحمل الكامل ويظهر في الجدول بالقيمة $(6^{1/2})$ من جهد الطور في التيار المتردد.
من الناحية الأخرى يمكننا الجمع بين مزايا قنطرة التوحيد وازدواجية الأطوار الثلاث فيعطي الشكل رقم 7-8 الشكل العام لدائرة كهربية كمصدر للتيار المستمر أخذا من الأوجه الستة ولكن مضافا لها قنطرة التوحيد وهو ما سوف يحسن من خصائص التنعيم للموجة وهو ما يتم من خلال مرشحات للذبذبة العالية وذلك للحصول علي تيار مستمر بدون موجات توافقية.



الشكل رقم 7-8 : دائرة تيار المستمر بقنطرة التوحيد مع سداسي الأوجه

الجدول رقم 7-3 : بيان بقيمة المقننات في مختلف محطات التوحيد

البيان	الشكل (ب)	الشكل (ج)
تيار الملفات rms	(2 / 3) √ تيار الحمل	{2 / (√3)} تيار الحمل
مقنن ملفات DC (VA)	1.05 × تيار الحمل × جهد الحمل	1.48 × تيار الحمل × جهد الحمل
مقنن ملفات (VA)A C	1.05 × تيار الحمل × جهد الحمل	1.05 × تيار الحمل× جهد الحمل
جهد الخروج	2.34 × جهد الوجه	1.17 × جهد الوجه
مستوى تأرجح قمة الموجة	% 4.5	% 4.5
التيار المتوسط بالموحد	(3/1) × تيار الحمل	(6/1) × تيار الحمل
قيمة rms لتيار الموحد	{1/ (√3)} × تيار الحمل	{1/ (2 × √3)} ×تيار الحمل
أقصى جهد خروج	(√6) × جهد الوجه	(√6) × جهد الوجه

الطريقة الثانية: مجموعة المحرك/المولد Motor/Generator Set

هي مجموعة مضافة إلي ما سبق ذكره لتكون خط دفاع ثان بعد محطة التوحيد السابقة كي تزيد من اعتمادية تغذية البطاريات أو رفع الإعتمادية عن طريق زيادة عدد البدائل لها وهو محرك بالتيار المتردد يغذي مولد يعطي تيارا مستمرا ويعيب هذا أنه لا بد من تواجد مصدر تيار متردد كي يعمل ولهذا السبب ذاته تتواجد الميزة لأنه يمكن التعامل مع مولد صغير خارجي للتيار المتردد فيعطي لنا التيار المستمر الضروري خصوصا في حالات سقوط محطات التوليد الكبرى، تتميز هذه المجموعة أيضا بما يلي:

1- رفع القدرة المتاحة علي قضبان التيار المستمر
2- تعويض الخسارة المفقودة أو المستهلكة من البطاريات
3- رفع قيمة القدرة المضافة أثناء الفصل التلقائي الشامل

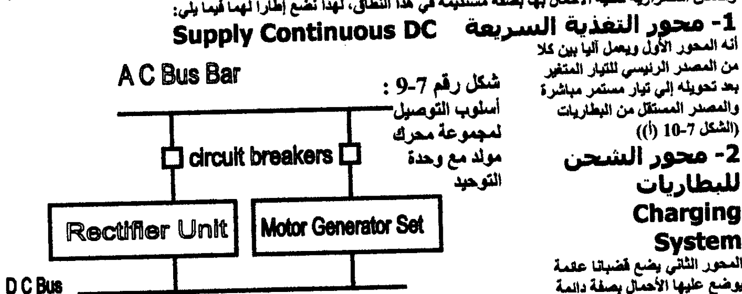
لهذا تعمل هذه المجموعة بالأسلوب الآلي مع تواجد إمكانية التعامل معها يدويا ويتم توصيلها علي التوازي مع مجموعة الموحدات (الشكل رقم 7-9).

ثالثا: الربط بين مصادر التيار المستمر Connection Concept

طريقة الربط بين مصادر القدرة الكهربية علي الجهد المستمر تعني كيفية التوصيل بين أنواع التيار المستمر كمصدر تيار معا وهو ما نراه في الشكل رقم 7- 10 حيث نجد أسلوبان للربط يمثلان محوري العمل من أجل شحن خلايا البطاريات في محطة التيار المستمر وضمان استمرارية تغذية الأحمال بها بصفة مستديمة في هذا النطاق، لهذا نضع إطارا لهما فيما يلي:

1- محور التغذية السريعة Supply Continuous DC

أنه المحور الأول ويعمل آليا بين كلا من المصدر الرئيسي للتيار المتغير بعد تحويله إلي تيار مستمر مباشرة والمصدر المستقل من البطاريات (الشكل 7-10 (أ))



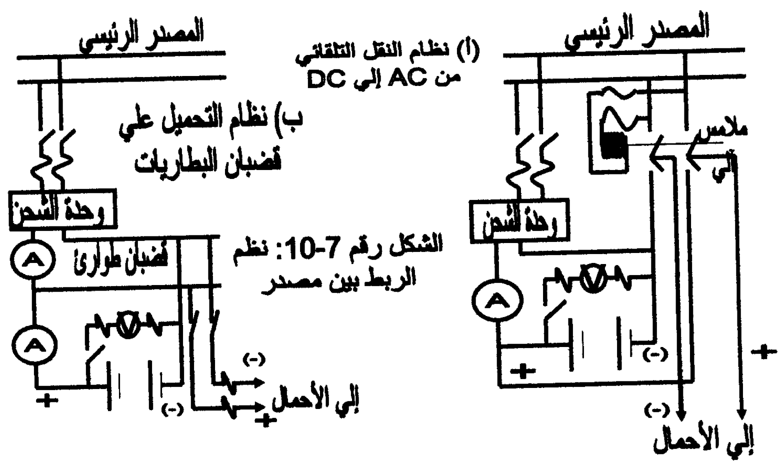
شكل رقم 7-9 : أسلوب التوصيل لمجموعة محرك مولد مع وحدة التوحيد

2- محور الشحن للبطاريات Charging System

المحور الثاني يضع قضبانا عامة يوضع عليها الأحمال بصفة دائمة سواء كانت التغذية من المصدر الرئيسي أم المستقل (الشكل 7-10 (ب)) وبذلك يتم شحن البطاريات بصفة مستمرة ودائمة ولكنه يتنوع تبعا لحالة البطاريات والتي تتأثر بكمية القدرة المستهلكة في التشغيل في وقت الاستقرار أو في أوضاع الفصل التلقائي، وهذا الشحن نتبع معه أسلوبان هما:

(أ) أسلوب الشحن السريع Trickle Charging

يعتمد هذا الشحن علي تعويض القدرة المفقودة من خلايا البطاريات والمستهلكة في التشغيل المعتاد لشبكة الوقاية وما بها من منظومات مختلفة للوقاية كي تكون جاهزة بصفة دائمة لأي حالة فصل تلقائي علي نطاق واسع ومن ثم يكون هذا الشحن دائم التشغيل ويتم ذلك من خلال توصيل الوحدة الخاصة بهذا الشحن السريع مع البطاريات بصفة دائمة وتكون هي حلقة ربط دائمة بين محطة البطاريات والقضبان الرئيسية للجهد المتغير بالشبكة الرئيسية، وتتميز هذه المرحلة الدائمة من الشحن بتناهي قيمة تيار الشحن والنسبة العالية في الاستقرار فيها.



الشكل رقم 7-10: نظام الربط بين مصدر

(ب) أسلوب الشحن طويل المدى Charging

تنتهج هذه العملية مبدأين جوهريين هما:

المبدأ الأول: مبدأ ثبوت التيار Constant Current

يتغير كلا من الجهد والتيار علي أقطاب خلايا البطاريات مع كل لحظة وما دام الشرط هنا هو ثبوت التيار فيكون التيار ثابتا في فترات معينة كما هو محدد في الشكل رقم 7- 11 (أ) وتظهر نقطة تغير لحظة تتواكب مع النقطة الغازية gassing point في البطاريات من النوع الحمضي.

المبدأ الثاني: مبدأ ثبوت الجهد Constant Voltage

نحتاج إلي أن يكون الجهد علي طرفي البطاريات هو الثابت فقد يأخذ تغيرا من وضع إلي آخر وبالتالي ثبوت الجهد قد يتنوع إلي حالتين هما:

الحالة الأولي: حالة ثبوت الجهد

في هذه الحالة يتم وضع البطاريات بالتوصيل المباشر دون مدخلات علي التوالي أو التوازي بالدائرة وتكون مباشرة من المصدر وتغذي البطارية أو الخلية حسب الأحوال ولا يمكننا التحكم في الجهد أو التيار لعدم وجود الجزء المتغير في الدائرة (الشكل رقم 7- 11 (ب)).

الجهد والتيار | الجهد والتيار | الجهد والتيار

زمن الشحن | زمن الشحن | زمن الشحن

(أ) مع ثبوت تيار (ب) مع ثبوت الجهد (ج) مع الجهد معدل

الشكل رقم 7-11 : شحن البطاريات الحمضية

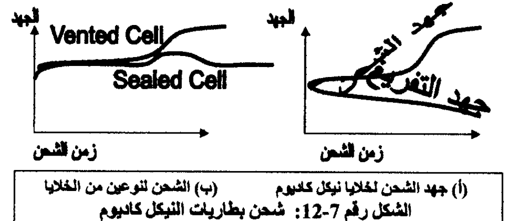


الحالة الثانية: حالة ثبوت الجهد مع التعديل الدائم Modified Constant Voltage Charging

يتم هذا الأسلوب تبعا لتوصيل ملف خانق أو متغيرة في الدائرة للتحكم في أسلوب الشحن مع التعديل المطلوب تطبيقه (الشكل رقم 7-11 (ج))، ويعطي الشكل رقم 7-12 أيضا تأرجح الجهد أثناء الشحن لنوعي الخلايا المبين حيث يكون لجهد الشحن تصرفا مغايرا له أثناء التفريغ وهو ما يجب أن يوضع في الاعتبار عند الاختيار لتغطية أقصى قدرات مطلوبة في أسوأ حالات الحمل الطارئ ويلزم التنويه عن أن درجة حرارة الهواء المحيط ذات علاقة مباشرة بهذا التغير مما يضع في الاعتبار محاولة وضع الخلايا في موقع مكيف الهواء، وعلي الجانب الآخر نري أشباه الموصلات كصفات متعلقة بالجهد واستخدامها كموحد كما في الشكل رقم 7-13 والمحدد لخلية من السليكون.

7-3: وقاية شبكة الوقاية Protection of Protective Gear

شبكة الوقاية protective gear تحتل مكان الأمانة علي روح الشبكة الكهربية الرئيسية main network وهي أيضا مع أجزائها ومنظوماتها معرضة للمخاطر والعيوب الخارجية أو أخطاء التشغيل أو أحيانا ضعف التصميم أيضا وبالتالي تحتاج هذه الدوائر إلي العناية والاهتمام الذي نتعرض له بإيجاز في السطور القادمة



(أ) جهد الشحن لخلايا نيكل كادميوم (ب) الشحن لنوعين من الخلايا

الشكل رقم 7-12: شحن بطاريات النيكل كادميوم

أولا: وقاية البطاريات Battery Protection

تعتبر البطاريات من أهم أجزاء شبكة الوقاية حيث أنه المصدر الجوهري لتغذية دوائر الوقاية بمختلف أنواع المنظومات التي تحصل علي قدرتها من هذه

البطاريات وهي التي قد تتعرض إلي الأخطاء المحددة فيما بعد.

1- الأخطاء والعيوب Faults

تتنوع هذه الأخطاء الخاصة بخلايا البطاريات إلي أخطاء متنوعة مثل:

(أ) العيوب الداخلية Internal

تعتبر العيوب الداخلية أنها تلك العيوب التي قد تنتج عن عيب في ألواح الخلايا الداخلية أو في التركيب الكيميائي أو تغيير في الخواص الكهربية داخليا وهي عيوب جوهرية قد تحتاج إلي التغيير لهذا الجزء المعيب وهي عيوب كيميائية بجانب تلك العيوب الخاصة بكسر العازل الكهربي بين الأقطاب أو الألواح وهي من العيوب الهامة التي يجب معالجتها هندسيا بالأسلوب السليم حفاظا علي هذه البطاريات كي تعمل بصفة دائمة دون إلحاق ضرر بدوائر الوقاية المرفقة بها، ومن هنا تأتي أهمية أسلوب توزيع البطاريات بين القضبان الموجبة والسالبة كي ترفع الكفاءة من جهة وتزيد من الاعتمادية عن الأخرى ويبين الشكل رقم 7- 14 التوزيع المتبع في توصيل البطاريات داخل محطة البطاريات.

جهد الخلية

الزمن (دورات)

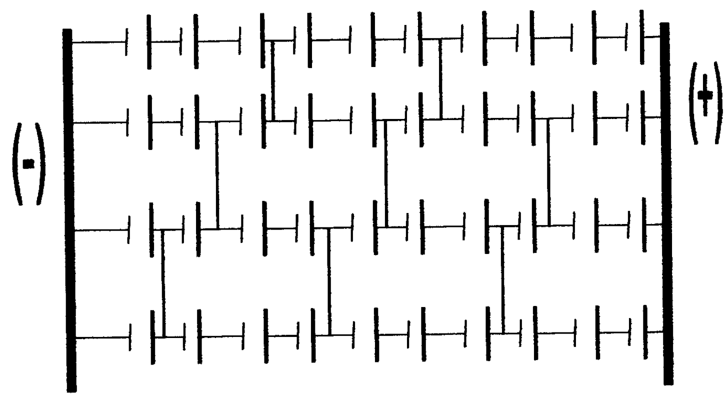
الشكل رقم 7- 13: منحنى تغير الجهد لخلية سليكون

(ب) الأخطاء الخارجية External

تنحصر الأخطاء الخارجية هنا في قطع أحد الأقطاب أو وجود قصر كهربي علي خروج البطاريات أو أي منها وهو ما يمثل أقصى درجات الخطورة لأنها تقطع التيار المغذي للوقاية علي وجه العموم ولهذا توضع درجات الاستعداد القصوى تحسبا لأي قصر في الشبكة الكهربية الرئيسية في تلك اللحظات وحتي إعادة الأوضاع إلي الشكل الطبيعي.

2- مستويات الوقاية Level of Protection

مستويات الوقاية لحماية البطاريات ككل أو لكل خلية علي حدة تكون علي مرحلتين هما:



الشكل رقم 7- 14 : توصيل خلايا البطاريات

(أ) الحدود الدنيا Minimum

يعتبر المصهر أول أنواع الوقاية للبطاريات ضد أي قصر خارجي وبالتالي تحمى البطارية من مرور أعلي من المقنن ويخرجها عن التشغيل أو التغذية للحمل.

(ب) الوقاية الأساسية Basic

تشتمل الوقاية الأساسية للبطاريات علي المصهر أيضا بجانب حماية ضد زيادة الحمل وضد الارتفاع الحراري ويمثل المصهر الوقاية ضد زيادة التيار وقد يستخدم أيضا لوقاية زيادة الحمل وهي وقاية غير مكلفة وبسيطة.

ثانيا: وقاية الموحدات Rectifier Protection

تعتبر الموحدات والتي عادة تصنع من السليكون من أهم الأجزاء التي تحتاج إلي الرعاية والوقاية ضد الأخطار ولذلك نضع الحديث عنها في نقاط مبسطة كما يلي:

1- الأخطاء والعيوب Faults

تتعرض الموحدات إلي عدد من الأخطاء نبينها في النوعين القادمين بعد:

(أ) العيوب الداخلية Internal

تتنوع العيوب في الموحدات من فشل وسائل التبريد لأن الخصائص الحرارية لها هامة للغاية وكذلك إذا عجز الموحد عن الصمود للجهد العكسي inverse voltage كما قد يحدث العيب من العزل الكهربي لمنطقة الوصل الكهربي junction داخل الموحد، ومن الممكن أن يزيد التيار عن فتح الموحد أمام الجهد عن القيمة المقننة فيحتاج إلي وقاية لمنع هذه الزيادة من الحدوث.

(ب) الأخطاء الخارجية External

تتباين الأخطاء الخارجية من تحميل فوق الطاقة الممكنة أو زيادة تيار نتيجة لقصر مباشر علي الدخول إلي الموحدات أو في دائرة التيار المستمر بعد الخروج من الموحدات وكلها أخطاء لها احتمالات عالية يجب وضعها في الاعتبار عند التعامل مع تصميم الوقاية للموحدات بشكل عام.

2- مستويات الوقاية Level of Protection

ننتقل إلي مستويات الوقاية اللازمة أو تلك الممكنة للتعامل مع الموحدات وهي:

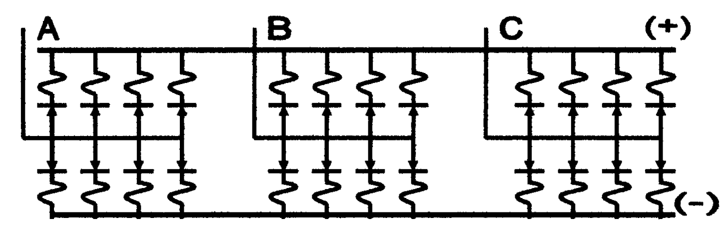
(أ) الحدود الدنيا Minimum

نبدأ بأول الأساسيات البسيطة وهي توصيل مصهر مع كل موحد لحمايته من زيادة التيار وهو ما يظهر من الشكل رقم 7- 15 والذي فيه يظهر نظام التوحيد المعتمد علي تعدد قنطرة التوحيد ثلاثية الوجه للحصول علي مقنن تيار عالي في جهة التيار المستمر ويظهر مصهر مع كل وحدة سليكون والجهاز رباعي القناطر ويمكن زيادتها لمواجهة الحاجة لتيارات أكبر.

(ب) الوقاية الأساسية Basic

تمثل الوقاية الأساسية تلك المطلوبة لتغطية كافة أنواع الأعطال وهي تتضمن وقاية زيادة الحمل ووقاية زيادة التيار ووقاية إخماد التيار عند الزيادة التلقائية لفتح بوابة الموحد مع الجهد وقد يضاف أيضا التأخير الزمني للفصل مع زيادة التيار لحماية الموحد وقد يستعان بالمصهر سريع الفصل للمستويات متوسطة القدرة من الموحدات، وفي بعض الحالات نحتاج إلي وقاية الزيادة في الجهد العكسي حماية للموحد ويظهر من الشكل رقم 7-15 أنه إذا ما فقد موحد صفاته وأصبح موصلا فسوف يسري التيار من وجه وينتقل إلي الآخر مسببا عدم اتزان في المغذي ثلاثي الطور وبالتالي زيادة في التيار للموحدات ككل.

من الناحية الأخرى يلزم التنسيق بين المصهر والقاطع في أي من دوائر الموحدات فمثلا يجب وضع التنسيق للدائرة المعطاة في الشكل رقم 7-7 (أ) بين القاطع والمصهر تبعا للخصائص الواردة في الشكل رقم 7-16 وتبين التداخل بين جهة التيار المستمر مع تلك للتيار المتردد.



الشكل رقم 7- 15 : دائرة تيار مستمر متعددة القناطر (رباعية) ثلاثية الوجه

(ج) الوقاية القصوى Maximum

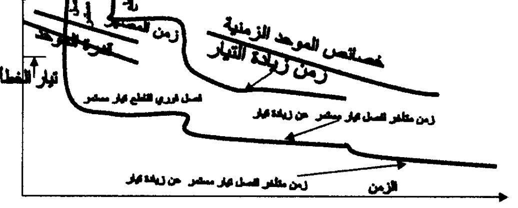
نظرا لخطورة الجهد وارتفاعه علي الموحد وحيث أنه يتعرض لزيادة الجهد over voltages إما خارجيا من خلال الصواعق surge أو داخليا من خلال عمليات الفصل والتوصيل في الدوائر المختلفة فتظهر جهود عالية خطرة وخصوصا لها صفة معدل ارتفاع مقدمة الموجة عاليا rise of front وهو ما قد ينتج عن دائرة التيار المستمر أو المتردد أو من حالة عدم اتزان بقيمة انحراف عالية وذلك يؤدي إلي كسر الوصلة الكهربية داخل شبه الموصل junction ويختفي تبعا لذلك الجهد الصامد inverse voltage في الاتجاه

العكسي ويكون بذلك قد فقد الموحد خصائصه الأساسية، ولهذا يستخدم معها وقاية بجهاز إخماد موجات الصاعقة وذلك بالرغم من تحمل بعض الدوائر الإلكترونية لهذه الجهود ولكن لفترات قصيرة جدا مثل الثايريستور والسيلينيوم فدائما تتجه التصميمات لمعامل أمان قدرة 2 أو 2.5 لرفع قيمة المقننات عند وضع حماية الجهد لها.

ثالثا: وقاية دوائر الوقاية Protection of Static Elements

من مبادئ العمل مع دوائر التيار الثانوي لمحولات التيار لا يجوز استخدام قاطع للتيار سواء قاطع أو مصهر كي لا تقطع الدائرة مهما كانت الأخطاء المتعرضة لها ولذلك يتم إدخال المحولات المساعدة في أغلب الأحيان لتساعد علي غلق دائرة محول التيار تماما وإبعادها عن المصهر ووسائل الحماية بينما تتم حماية محولات الجهد بالمصهر في الجهتين العالية والمنخفضة في الجهد ، أما عن العيوب والتغلب عليها فسوف نلمس جزءا هاما منها في البنود الآتية من خلال هذا الفصل.

1- الأخطاء والعيوب Faults

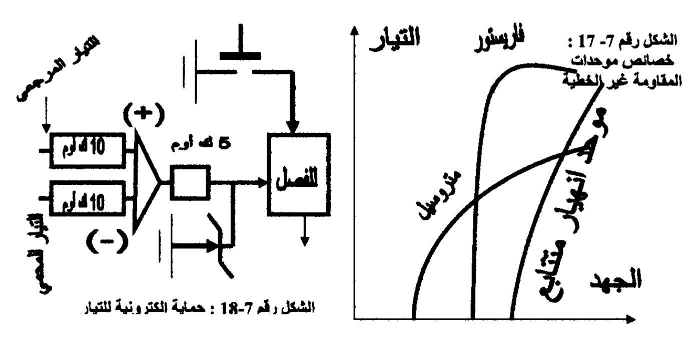


الشكل رقم 7-16: خصائص التنسيق والفصل للدائرة الموضحة بالشكل رقم 7- 7 (أ)

حيث أن الدوائر الرقمية والمنطقية والمتكاملة قد ظهرت في مجال التطبيقات منذ عدة عقود ودخلت كلها معا أو منفردة في دوائر الوقاية العاملة بالشبكات الكهربية وحيث أن هذه النوعية من الدوائر ومكوناتها التي تشمل الموحدات (سيليكون – وسيليكون محكومة - سيلينيوم) وترانزيستور والثايريستور والميكرو بروسيسور كما ظهرت المتممات الإلكترونية والقواطع الإلكترونية.
بالنسبة للعيوب الداخلية Internal نجد أن كلها تعتمد أساسا علي نقطة العمل الخاصة بها ولذلك فهي تتأثر إلي حد كبير بدرجة الحرارة وتغير من كفاءة الأداء في كل أشباه الموصلات أما الأخطاء الخارجية فكلها مثل تلك التي سبق الحديث عنها في بند الموحدات ومن ثم تحتاج إلي الوقاية المثيلة لتلك السابقة ولكن مع شيء من الإضافة والتحديد لنوعيتها حماية لبقية الأجزاء في الدائرة.

2- أنواع الوقاية Types of Protection

تأخذ أنواع الوقاية هنا ما يخص الدوائر الإلكترونية عموما لأنها تدخل في مكونات الدوائر سواء كانت بالمتممات الساكنة أو تلك الكهروديناميكية أو مغناطيسية ولذلك تحتاج إلي التحديد التالي.



الشكل رقم 7- 17 : خصائص موحدات المقاومة غير الخطية

الشكل رقم 7-18 : حماية الكترونية للتيار

(أ) الوقاية ضد زيادة الجهد Over Voltage Rise

يمكن أن تعمل أجزاء الحماية هذه إما علي التوالي أو علي التوازي تبعا للمقنن وأسلوب العمل وهي تتباين من حيث النوعية والمسمى فأهمها هو:

1- المقاومة غير الخطية:

هي عبارة عن مقاومة لا خطية بحيث عند ارتفاع الجهد لقيمة مرجعية محددة تنهار قيمة المقاومة وتصل إلي الصفر وبذلك تمنع الجهد من الارتفاع عن هذه القيمة في أي وضع تشغيل وهذه المقاومة تشمل بعض الأنواع منها مقاومة كربيد السيليكون والمعروفة باسم المتروسيل (metrosil) ولكنها غير مستخدمة علي نطاق واسع لأنها معيبة بزيادة الجهد إلي الضعف في حالة فرق الجهد المفاجئ بينما هناك نوعا آخر مثل المقاومة الفاريستور(varistor) وهو نوع جديد وله خصائص أفضل وتدخل مادة أكسيد الزنك كمادة فاعلة فيه فتخفض الجهد بدخول مسار موازي للتيار لحظيا.

2- موحدات الانهيار المتتابع
(Silicon Avalanche Diodes)

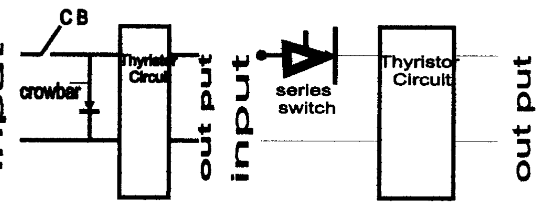
هي موحدات تصنع من السليكون وتعمل في الربع الثالث ولا تتلف من ارتفاع الجهد لأنها قادرة علي امتصاص الطاقة بسهولة في التيارات العالية بسبب انخفاض مقاومتها العكسي ويعطي الشكل رقم 7- 17 صفات النوعيتين من الموحدات.

3- موحدات ضد زيادة الجهد الأمامي
Front Wave of Voltage

تتباين أنماط هذه الموحدات ومنها موحد انهيار تجاوز break over diode وهو يعمل بالربع الأول أو موحد الزينر Zener Diode الذي يعمل في الربع الثالث لامتصاص الجهد الزائد عندما يرتفع معدل واجهته الأمامية ومن هذه النوعية موحد واقي زيادة الجهد العكسي.

(ب) وقاية زيادة التيار Over Current

نتعامل مع المصهر بشكل أساسي ولكن نوعية المصهر هنا تختلف عن مصهر القوى ويجب أن يكون من الطراز سريع الفصل ومدته أقل من 10 ملي ثانية ولذلك فهذه النوعية من المصهر يوضع عليها علامة لتحدد أنها تخص أشباه الموصلات ويعتمد أيضا علي أنواع قطع الدائرة الكهربية وهي التي تعمل بدون ملفات مغناطيسية لأنها تعمل علي أسلوب الوصل بين الموصلات. يوجد أيضا أنواعا من الحماية الإلكترونية باستخدام كاشف تيار فتفصل التيار بدائرة بوابة عند عبور القيمة المرجعية فيتوقف التيار عن المرور في الثايريستور ولكن هذا يستهلك وقت الدورة الذبذبية حتى لحظة المرور الصفري (الشكل رقم 7- 18).



(ب) مفتاح التوازي (العتلة) (أ) مفتاح التوالي (المجبر)

الشكل رقم 7- 19 : المفتاح الاستاتيكي

يوجد أيضا طرز الوقاية الأخري والمسماة المفتاح الاستاتيكي Static Switch ومنه نوعان الأول مفتاح التوالي (الشكل رقم 7-19(أ)) وهو عبارة عن ثايروستور موصلا علي التوالي في الدائرة ويقوم بفصل التيار إذا تجاوز التيار القيمة المرجعية بأسلوب الإخماد الجبري forced commutation للثايريستور ويلزم توصيل مصهر لحماية الثايريستور إذا ما فشل في أداء المهمة والثاني مفتاح التوازي والمسمى العتلة (crowbar) وهو ثايريستور كبير كما هو مبين في الشكل رقم 7–19(ب).

يضاف مع هذا الوقاية ضد معدل ارتفاع التيار حيث كثافة التيار بالقرب من البوابة تصل إلي قيمة مرتفعة قد تصل بالانصهار الجزئي في السليكون مما يزيد من التيار المار إلي الثايرستور فيرفع درجة حرارته وهو ما سيؤول إلي الانهيار في الخصائص كما يمكن الاعتماد علي إشارات تيار إشعال قوية في دائرة البوابة مما يساعد فعلا في تحسن معدل الارتفاع للتيار.

(ج) وقاية زيادة الحمل Over Load

تعتبر هذه الوقاية من أهم أنواع الوقاية خصوصا وأن النبائط (أشباه الموصلات) تتأثر بشكل مباشر بزيادة درجة الحرارة عن النطاق المحدد للتشغيل ويبين الشكل رقم 7-20 الفروق الأساسية في التعامل مع القاطع والمصهر والثايريستور في حماية الدوائر الإلكترونية ومن ثم يظهر مجال عمل المصهر في البداية (0.01–1 ث) بجلاء ثم القاطع (1 ث–4 س) ويقترب بذلك من خصائص الثايريستور.

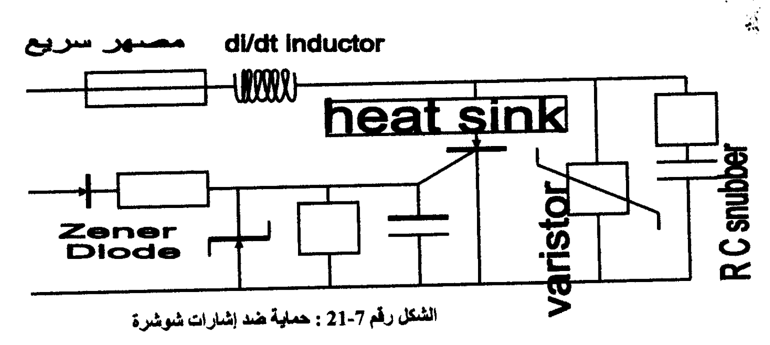
(د) وقاية ضد إشارات التداخل Noise Signal Protection

تعمل هذه الوقاية علي نقاء الموجات تحت القياس والقيمة المرجعية ومنع أي تداخل في الإشارات معها ولذلك نري في الشكل رقم 7-21 الدائرة الأساسية لمفهوم الوقاية من الإشارات لدائرة الثايريستور وهو من أهم الأجزاء في دوائر الوقاية بالدوائر الرقمية والاستاتيكية لأن زيادة مستوى إشارات الشوشرة في الثايريستور يقود إلي الخلل في نتائج العمل فيعطي خطأ أكبر في النتائج.

الشكل رقم 7-20 : خصائص أدوات الفصل

(هـ) وقاية ضد ارتفاع درجة الحرارة Temperature Rise

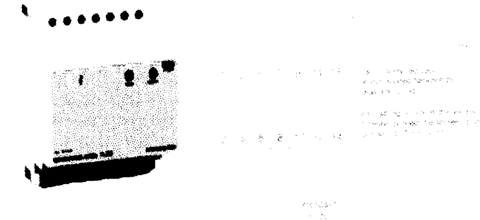
من أفضل السبل لوقاية الدوائر الإلكترونية تظهر الوقاية الحرارية بدرجة الحرارة لأن أشباه الموصلات تعتمد علي النقل الدائم للحرارة إلي الأجزاء المتجاورة والمتلامسة أي تسرب الحرارة Heat Sink وقد يتم ذلك بمسار حراري واحد أو أكثر حسب القدرات أو أن يصبح التبريد سطحيا وهو الأكثر شيوعا في التطبيقات لرخص ثمنه وأحيانا يستعان بوسط مثل الزيت أو غيره لنقل الحرارة أو بالتبريد الجبري باستخدام المراوح كما هو الإتجاه الحديث في تبريد المشغلات الدقيقة ذات السرعات الفائقة.



الشكل رقم 7-21 : حماية ضد إشارات شوشرة

و) وقاية ضد تسرب التيار إلي الأرض

يعتبر هذا النوع من الوقاية من أهم أساليب الوقاية التي تحمي المتعاملين مع المعدات الكهربية سوا المعدات الكهربية أو الصناعية أو تلك المنزلية مثل الثلاجة والتليفزيون والخلاط والمكنسة وغيرهم، وقد ساعد كثير في الحفاظ علي مستوى التسرب الأرضي تحت الحدود المحددة مسبقا ويضبط عليها هذا المتمم ونرى في الشكل رقم 7-22 منظرا لهذه النوعية من المتممات ويبسط لنا الدائرة الكهربية المقننة القياسية لهذا النوع من الوقاية.



الشكل رقم 7-22: متمم ضد التسرب الأرضي

4-7: أستخدام المصهرات للوقاية Fuses

تأتي فكرة إستخدام المصهر في الدوائر الكهربية من الظاهرة الطبيعية لمرور التيار الكهربي في موصل ما، فهذا الموصل له مقنن وهو ما يعني مرور هذا التيار المقنن عند الجهد المقنن بصورة مستمرة دون إنقطاع. ذلك أن الموصل يتحمل التيار المقنن لمدة زمنية لا نهائية (تيار دائم زمنيا)، فهذا يوضح أن العزل الكهربي للموصل أو قطر الموصل يتحملان القيمة المقننة إذا ما مر فيه هذا التيار. أما إذا ما زاد التيار عن الحد المقنن ندخل في المنطقة التالية وهي منطقة تجاوز الحمل، ففيها يكون التيار أعلي وبالتالي تأثيره أكبر وهو ما يتحول إلي طاقة حرارية. هذه الطاقة الحرارية الزائدة لا يمكنها الإنتقال إلي الخارج مثل القيمة المقننة وبالتالي تتراكم في الموصل مسببة إرتفاعا في درجة الحرارة وكلما زادت المدة الزمنية للتحميل التياري يزيد هذا التراكم الحراري فيؤدي إلي إنهيار العزل الكهربي لإرتفاع الحرارة فيه، حيث تقل كفاءة العزل بشدة. من هنا يتم وضع الحماية اللزمة لتحديد المدة المسموحة لمرور هذا التيار وهو ما يعرف بأسم الحماية ضد تجاوز الحمل.

من الناحية الأخري إذا لم نضع هذه الحماية فماذا سيحدث؟، إن هذا يأخذنا إلي التراكم المستمر والذي يسبب فيه التيار إنهيارا كهربيا للعزل وذلك مثل حالات التحميل فوق المعتاد للكابلات. أما إذا ما كانت الموصلات التي يمر بها التيار العالي فوق المقنن دون عزل كهربي من الأساس فان التيار سوف يرفع من درجة حرارة الموصل، ويستمر الإرتفاع الحراري بصورة مستمرة إلي أن نصل إلي النقطة التي عندها يتحول المعدن الموصل إلي حالة الإنصهار. عندئذ يكون الموصل في الحالة السائلة فيزيقيا، وإذا كان عليه شدا ميكانيكيا كما هي العادة ينقطع بسرعة، أي يتوقف التيار من المرور. اما إذا كان السلك بدون شد سوف يستمر التيار لفترة وجيزة حتي تنصهر أضعف نقطة داخل الموصل ذاته فتنقطع وباتالي يتوقف التيار.

هكذا نجد أن فكرة المصهر تأتي من إنصهار الموصل أي أن كل قطر من الأسلاك والموصلات له مقنن خاص به (قيمة التيار المقنن)، أي كل قطر له نقطة إنصهار. من هذه الناحية نجد أن أي موصل له تيارن:

1- مقنن التيار المار به بصورة مستديمة Nominal Current

يعني أن التيار الدائم مروره هو ذلك التيار الذي يعمل عند الموصل بكفاءة كاملة

2- مقنن تيار لإنصهاره عند زمن محدد Melting Current

أنه ذلك التيار الذي لا يسمح بمرور لتيار تالي.

لهذا يمكننا بدلا من أن نترك الموصل ينصهر بكاملة أو جزئيا مؤديا إلي الحاجة إلي تغييره، بأن نقوم بترك هذا التيار يمر بالموصل العادي ونضع عند بدايته (دخول التيار) موصلا آخر ينصهر إذا ما وصلت قيمة التيار الكهربي إلي هذه القيمة الخطرة سواء علي الموصل (الكابل) أو علي الأجهزة العاملة عليه. وهذا هو ما يعرف باسم المصهر.

من هذا المنطلق نجد أننا في حاجة إلي التعرف علي أداء هذا المصهر بشكل مركز، ومن ثم نضع بعضا من النقاط الرئيسية لفهم هذا الأداء. ننتقل إلي أهم الأجزاء الأساسية للمصهر والمعاملات المؤثرة في الأداء وهي:

أولا: المكونات Components

يصنع المصهر بقيم متعددة ولكنها مقننه حتى يتم توحيد التعامل معها في تصميم الشبكات الكهربية كما نراها ممثله في الجدول رقم 7-4 علي سبيل المثال لبعض حالات الدوائر الفرعية في شبكات التوزيع المنفصلة عادة، حيث يرد بعضا لمقننات المصهر وخاصة تلك المستخدمة في وقاية محولات التوزيع سواء في القرى أو المدن بجانب بعضا من المقننات الشائعة في التداول في وسط الاستهلاك عند مستخدمي الطاقة الكهربية عموما .

جدول رقم 7-4: التيارات المقننة للمصهر علي الجهدين 11 و 0.4 ك. ف

قدرة المحول 0.4/11 ك. ف. (ك ف ا)	مقنن مصهر الجهد العالي للمحولات		مصهر 11 ك. ف.	مصهر 380 ف
	اقل مقنن (أ)	اكبر مقنن (أ)	مقنن (أ)	مقنن (أ)
50	16	16	16	80
100	25	40	25	125
200	40	63	25	160
250	40	63	40	200
400	63	100	63	250
500	63	100	100	400
630	63	160	100	500
800	100	200	125	630
1000	100	200	160	800
			200	1000

تشمل المكونات تلك الأجزاء الرئيسية الداخلة في تركيب المصهر ومن أهمها:

أ) المنصهرة Fuse

يمكننا القول بأن هذا الجزء هو ذلك الموصل بالقطر الصغير والذي يجب أن ينصهر عند وصول التيار إلي القيمة المحددة مسبقا. كما أن هذا يعتمد علي نوع المعدن للموصل وعلي الوسط المحيط به وهو اللازم لنقل الطاقة الحرارية من عدمه.

ب) القاعدة base

أنها المكان المخصص لتركيب الأطراف والمنصهرة

ج) أطراف التوصيل Terminals

تعتبر أطراف التوصيل من أهم الأجزاء بعد المنصهرة لأنها تدخل في الدائرة الكهربية علي التوالي وبالتالي لا بد وأن تكون مثبتة تماما علي القاعدة بالإضافة إلي سلامة الأطراف من حيث كفاءة التوصيل مع نهايات المنصهرة.

د) الأجزاء المساعدة Auxiliary Elements

تشمل الكثير من الأجزاء التي تساعد علي التركيب بصورة عامة وتثبيت المصهر بشكل جيد وملاءمة التغيير بعد القطع التياري. أنها تشمل المبينات الإرشادية وكذلك وسائل التحذير بجانب وسائل الاستبدال وغيرها.

ثانيا: معامل الإنصهار Melting Coefficient

ذلك المعامل هو المحدد لكفاءة عمل المصهر وهو يأخذ الصيغة الرياضية:

$$\text{معامل الإنصهار} = \frac{\text{أصغر قيمة لتيار الصهر}}{\text{التيار المقنن للدائرة}} \qquad (7-7)$$

في هذه المعادلة نأخذ أصغر قيم التيار في خصائص المصهر كما سبق الشرح والتوضيح من قبل في هذا الكتيب، حيث يكون هناك منحني للقيمة الأصلية وآخر للقيمة الدنيا وبالتالي نأخذ القيمة المواكبة للتيار علي المنحني الأدني. كما أننا نلاحظ أن هذه القيمة لا بد وأن تزيد عن الواحد الصحيح.

ثالثا: زمن الفصل Tripping Time

هكذا نجد أن هذه القيمة للتيار الأدني تتزامن مع قيمة للفصل زمنيا، أي أن زمن الفصل يرتبط إرتباطا لصيقا بقيمة تيار الصهر (تيار القصر). لهذا نجد أن هذا الزمن يتكون من جزأين هما:

الزمن الأول: زمن الصهر Melting Time

يتمثل ذلك في زمن أولي بدءا من الإحساس بمرور تيار الصهر إلي أن يبدأ الإنصهار للمنصهرة داخل المصهر. حيث يبدأ الإنصهار بتكون قوس كهربي يحتاج إلي ميكانيكية وآلية لقطع القوس الكهربي، إن هذا الزمن عمليا وفي أغلب الأوقات يكون علي مدار الدورة الواحدة أي ما يقرب من 0.02 ثانية. علاوة علي أن زمن الصهر قد يتراوح بين 1 و 2 ثانية حسب الأحوال، لأنه يعتمد علي عدة عوامل.

الزمن الثاني: زمن القطع Interruption Time

انه ذلك الزمن اللازم حتي يختفي القوي الكهربي وهو المتكون بين طرفي المصهر (بين طرفي السلك المنصهرة). هذه العملية يمكن التعبير عنها بالمعادلة:

$$\text{زمن الفصل} = \text{زمن الصهر} + \text{زمن القطع الشراري} \qquad (7-8)$$

رابعا: الكمية الحرارية Heat Quantity

كما سبق الإشارة إلي أن زمن عملية الصهر بمقدار t بالثانية، يعتمد بالدرجة الأولي علي نوعية المعدن (يكون له ثابت مقداره C للمنصهرة) وقطره (خصائص القطر)، حيث أنه قد تكون هناك نقاط بقطر أصغر نتيجة التصنيع أو غيره من الأحوال فتكون هذه النقاط الأقل قطرا (الأضعف وبمساحة مقطع A سم2) البادئة في الإنصهار. كما يمكننا الحصول علي هذه العلاقة المميزة في الصيغة الرياضية:

$$I^2 \times t = C \times A^2 \qquad (7-9)$$

حيث أن ثابت معدن الفضة يساوي (7×10^{8}) وللنحاس يعادل (1×10^{9})

خامسا: تيار القطع Cut Off Current

إن كمية الحرارة W الناتجة عن القطع تتحدد بالمعادلة:

$$I^2 \times t = C \times A^2 = W \qquad (7-10)$$

من هذه المعادلة نحصل علي تيار القطع I_c بالقيمة:

$$I_c = 11 \sqrt[3]{(W\ I_p)} \qquad (7-11)$$

حيث أن تيار القصر المحتمل Prospective بالقيمة I_p المنتجة تحدد القيمة الفعالة Effective لتيار القصر المتوقعanticipated .
بالرغم من التعرض مسبقا لموضوع المصهرات إلا أن المصهر يلعب دورا رئيسيا في حماية دوائر التحكم وأيضا دوائر الوقاية وتظهر أهميته البالغة مع الدوائر المطبوعة والإلكترونية عموما ومن ثم نحتاج إلي التعامل مع المصهر من الوجهة التقنية من أجل التعرف علي خصائص الفصل الخاصة به وبالتالي نتطيع إختيار المصهر المناسب لدائرة محددة. علي الجانب الآخر يصنع وينتج المصهر بقيم متعددة ولكنها مقننه حتى يتم توحيد التعامل معها في تصميم الشبكات الكهربية كما نراها ممثله في الجدول رقم 7-4 حيث يرد بعضا لمقننات المصهر وخاصة المستخدمة في وقاية محولات التوزيع سواء في القرى أو المدن بجانب بعضا من المقننات الشائعة في التداول في وسط الاستهلاك عند مستخدمي الطاقة الكهربية عموما.

سادسا: أنواع المصهرات Types

من ناحية أخري يلزم التأكيد علي ضرورة وضع الشروط الإضافية لتشغيل ووضع مصهر للوقاية لأحد المكثفات ضمن مجموعة من المكثفات تجنبا لأضرار التيارات السعوية المتوالدة خصوصا عند حدوث القصر.
أما من جهة تقسيم المصهر بناءا علي أسلوب قطع التيار أثناء القصر فيمكن أن يتنوع في ثلاث طرق هي:

الطريقة الأولي: غير محدد لقيمه تيار القطع

non current limiting value

إنها الطريقة التي تعتمد علي قطع التيار مع حركه ارتفاع قيمته بالشكل الموجي للتيار المتغير وتصل فيه القيمة إلي الذروة وتنطوي علي عددا من الأشكال مثل:

1- مصهر الطرد Expulsion fuses

في هذا النوع ترتفع درجه الحرارة داخل المصهر فتعمل علي تبخره المكونات المحيطة بالسلك المنقطع (المنصهر) فتتوالد الغازات بسرعة وبكميات كبيره نسبيا فتزيد من الضغط في مكان الشرارة فتساعد علي سرعة إطفاء الشرارة وتتجمع هذه الغازات بالداخل ويلزم إخراجها من المكان المخصص اعلي المصهر ولذلك لا يوصي بالاستعانة بمثل هذه النوعية داخل الأبنية أو في المدارس ورياض الأطفال ولكن يصلح هذا النوع للمحولات الخارجية التي عاده تحمل فوق الأعمدة الهوائية مثل ما هو موجود في القرى والأماكن الريفية وكذلك الخطوط الكهربية.

زمن (ث)
منحني الإزالة
منحنى الانصهار
تيار القصر

الشكل رقم 7-23: خصائص الفصل للمصهر

2- المصهر المفرغ Vacuum fuses

تتميز بأنها مغلقه تماما وتمنع تواجد الشرارة أثناء القصر نتيجة انعدام الضغط داخل المصهر وهي نوعيه مغلقه تماما للحفاظ علي التخلخل وتتميز بأنها صغيره الحجم وغير مزعجه ونظيفة ويمكن الاعتماد عليها داخل الأبنية عموما.
كما يتم وضع تصنيفا آخر لأهم المصهرات من حيث الحجم بالشكل كالتالي:

1- مصهرات إنفجارية Explosive Fuses

هي ذلك الطراز الذي ينفجر عند مرور التيار الصهري في الدائرة مما يلزم معه التغيير المباشر للمصهر.

2- مصهرات قدرة Power Fuses

يمكن أن تأخذ شكل القاطع المغمور بالزيت كما أنه يوجد منها مصهرات قدرة عادية أو مصهرات عالية قدرة القطع

3- مصهرات مسحوقية Powder Fuses

لها فعالية مرتفعة وهي واسعة الإنتشار

4- مصهرات سائلية Liquid Fuses

أنها تشمل عددا متنوعا مثل مصهرات زيتية أو حمضية

5- مصهرات نصف مغلفة Semi Closed Fuses

يستخدم هذا النوع عادة في شبكات التوزيع وعادة يكون معامل الإنصهار فيها مساويا 1.75 ولا يجوز التعامل مع مصهرات لها معامل إنصهار أقل من 1.25

6- مصهرات منمنمة Miniature Fuses

أصبح هذا النوع الأكثر إستخداما في كافة المجالات وعلي الخصوص في الشبكات المنزلية والصناعية وأيضا في شبكات التوزيع الداخلي.

من الناحية الأخري تنقسم المصهرات عموما إلي مستويين:

أ) المستوي الأول

يتمتع هذا المستوي بالشروط الآتية:

1- مستوي عزل المصهر يساوي مستوي عزل الدائرة والسكاكين بها
2- قدرة القطع أعلي من المستوي الثاني
3- مستوي التيارات المقننة أعلي من المستوي الثاني

ب) المستوي الثاني

من خصائص هذا المستوي:

1- مستوي عزل المصهر أقل من مستوي عزل الدائرة والسكاكين بها
2- إمكانية التعامل مع مصهرات قابلة للإحلال أو التغيير Replaceable

الطريقة الثانية: محدده لقيمه تيار القطع ***current limiting type***

تعرف هذه الطريقة بأنها الأفضل استخداما وتعمل علي نطاق واسع وبكفاءة عالية ومنها تلك المصهرات عالية قدره القطع والمعروفة وقد سبق بيانها في هذا الباب وفيها يتم الفصل الكهربي قبل الوصول إلي القيمة القصوى للتيار ولذلك تكون سريعة الفصل.

الطريقة الثالثة: التحكم الآلي للفصل الكهربي

Controlled type for cut off current

في هذه النوعية يتم التحكم في مقننات الحركة والفصل التي تخص الدائرة المعينة وقد ظهرت مؤخرا نتيجة التقدم التكنولوجي علي الساحة التطبيقية وهي التي تعرف بالمصهر الإلكتروني power electronic fuses وتتكون من جهازين هما:

1- جهاز التحكم الزمني

يشمل ذلك الدوائر الخاصة بالتحكم في زمن الفصل التي تعتمد علي قيمه تيار القصر وخصوصا في الدوائر الإلكترونية من هنا يمكننا أن نضع المصهرات زمنيا في نوعين:

أ) مصهرات سريعة الفصل Quick Fuses

هذا النوع يقوم بالفصل بمجرد حدوث التيار المصهر وقبل أن نصل إلي القيمة القصوي للتيار الجيبي، أي أقل من نصف دورة ذبذبية. يندرج ضمن هذا الصنف المصهرات المسحوقية مثل برداة الفضة. هذا يعني أن زمن الصهر يصل إلي 10 ملي ثانية ويضاف إلي زمن القطع والذي قد يكون مساويا له أي أن الزمن الكلي للفصل يصل إلي 20 ملي ثانية أو أقل. هذه النوعية من المصهرات تعرف أيضا بالمصهرات المحددة من التيار.

ب) مصهرات بطيئة الفصل Lag Fuses

إن ذلك الطراز هو الذي يتم فيه التصميم علي أن يتحمل فيه الإنتقال الحراري للتيار المصهر وقتا أكبر ويستمر لمدة فوق الدورة أو الدورتين من الذبذبة، كما يشمل هذا النوع المصهرات السائلة وتلك الإنفجارية. كما أن هذه النوعية من المصهرات تعرف بالمصهرات غير المحددة من التيار لأنها تتأخر في زمن الفصل.

2- جهاز التحكم لتيار الفصل Current Control

يعتمد علي الدوائر التكاملية والمعروفة بالدوائر المنطقية logic circuits ويمكن تغذيتها من خلال محولات التيار ويتمكن هذا النوع من الفصل الفوري او الفصل المتأخر إلا انه معيب باحتراق جهاز الفصل مع كل قصر مما يستلزم تغييره بآخر جديد.

ثانيا: خصائص الأداء والاختبار Performance & Testing

بعد الاستعراض السريع لأنواع المصهر نحتاج إلي التعامل مع مبدأ الصيانة وهي في الحقيقة مهمة صعبة إذا ما قورنت مع القواطع الكهربية ويضع الجدول رقم 7-5 بيانا موجزا عن أهم الفروق الجوهرية بين المصهر والقاطع كي يفيد في مفهوم الصيانة للمصهر. تتحدد خصائص الأداء لكل مصهر تبعا لنوعيه مكوناته ونظريه لكل مجموعه من المصهرات وهي منحنيات تبين العلاقة بين زمن وقدره الفصل فتشمل بداخلها المقنن القياسي لتيار المصهر خصوصا وكما نري في الشكل رقم 7-23 اثنين من المنحنيات لكل مصهر أولهما يخص انصهار المصهر والثاني يحدد زمن الفصل النهائي ويعرف الاول بمنحنى الانصهار بينما الثاني يسمي منحني الإزالة

cut off وفي الحقيقة هذا المنحني يبين بصوره اوضح ذلك الزمن الخاص بالشرارة والانصهار محددا زمن الفصل (الشكل رقم 7-23).

يبين الجدول أن التباين كبيرا بينهما مما يدعونا إلي الاعتماد علي مبدأ الاختبار لوسيلة لصيانة المصهر وبهذا نتولى خصائص المصهر علي محوري التشغيل والاختبار من خلال السطور القادمة.

جدول رقم 7-5: الفروق الجوهرية بين المصهر والقاطع الكهربي

م	البيان	صفات المصهر	خصائص القاطع
1	الأداء	يكشف العيب ويفصله	يقوم بالفصل فقط دون تحديد العيب
2	مبدأ الفصل	حراري	بناء علي أمر منظومة الوقاية
3	زمن الفصل	صغير جدا (2 ملي ث)	كبير نوعا (100-200 ملي ث)
4	قدرة القطع	صغيرة	كبير جدا
5	طريقة العمل	آلية	بناء علي أمر ملف الفصل
6	عمر التشغيل	يهلك بعد كل فصل	عمر طويل
7	التغيير	بعد كل فصل تلقائي	يتغير غالبا جزئيا بعد 2000 فصل تلقائي
8	الحجم	صغير جدا	كبير نوعا ما

المحور الأول: خصائص التشغيل Operating Performance

تمثل هذه النقطة أهم الصفات المميزة للتعامل مع المصهر في الدوائر الكهربية بشكل عام علي النحو المحدد فيما بعد.

1- مستوى الحساسية Sensitivity Class

هو من أول المعاملات حيث أنه يعتمد علي معامل الانصهار والمميز بجلاء عن حساسية المصهر بوجود عيب حقيقي ولذلك يوضع هذا العنوان كمبدأ لتقسيم مستويات الحساسية للمصهر وهم ثلاث مستويات ففي الأول يكون معامل الانصهار أقل من 1.25 بينما في الثاني يزيد عن ذلك وحتى 1.75 أما الأخير ففوق هذه القيمة.

إضافة إلي التغير المطلوب نتيجة مرور تيار القصر في المصهر فتظهر العلاقة بين تيار القصر وزمن فصله ويتم بأسلوب التمييز الاختياري للمصهرات المتتالية في شبكه ما كما نراها في الشكل رقم 7-24 فنجد أن الخواص الفصلية للمصهرات لابد وان تكون في شكل متتالي حتى لا يسبق مصهر ذلك الذي قبله في الفصل ويتمك تحميله بكل فصل وهذه عمليه جوهرية عند التصميم بينما قد يكون التصميم صحيحا ولكن مهندسي التشغيل أو الصيانة هو المخطئ في اختيار المصهر ويتم تركيبه خطأ.

الشكل رقم 7-24: جهد 380 ف جهد 11 ك.ف

2- مدى الفصل Tripping Margin

كما وجدنا من قبل أن العلاقة بين تيار القصر وزمن الفصل عبارة عن علاقة عكسية (الشكل رقم 7-25) إلا أننا نتعرض لأهم نقطة وهي دقة الفصل أو دقة الإحساس واحتمال الفصل وبذلك يظهر منحني لأقصى وضع فصل محتمل وكذلك آخر لأدنى فصل ممكن وتقع بينما نقاط العمل الفعلية للفصل (الشكل رقم 7-23) وأصبح المنحنى اثنين ويتم الفصل تبعا للظروف والاحتمالات.

الشكل رقم 7-25: خصائص تنسيق الفصل للمصهر في شبكة كهربية

3- التنسيق بين المصهرات Fuse Coordination

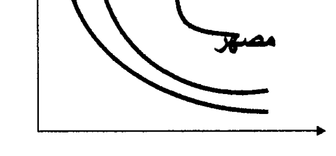
تظهر في شبكات التوزيع خصوصا الحاجة إلي التنسيق بين فصل المصهرات المتواجدة في الدائرة فنرى في الشكل رقم 7-24 شبكة توزيع كهربية فيها المصهر كوقاية أساسية ومحدد علي الرسم مكانا للقصر فيجب أن تكون الخصائص كما نشاهدها في الشكل رقم 9-12 متتالية كي يفصل الخطأ عن طريق أقرب مصهر له ويليه التالي وهكذا.

أما عن إطالة عمر تشغيل المصهر فيلزم الآتي:

1- تحميل المصهر دون تجاوز القيمة المقننة للتيار

2- عدم تعرض المصهر لجهود اعلي من المقننة
3 - عدم استخدام مصهر بمقننات اعلي من المطلوب لان ذلك يعرض المعدات تحت الحماية للخطر
4- يلزم التعامل مع دوائر المحركات لحمايتها بالمصهر تبعا للمقننات المحددة لكل مصهر
5- يمنع استخدام مصهرات علي التوازي.

اختصارا للوقت والمجهود الهندسي عند التعامل مع شبكات التوزيع المحورية وحتى لا تعاد الحسابات اكثر من مرة فقد وضعت جداول قياسية للنسبة الاختيارية عند المفاضلة بين المصهرات المتتالية في الشبكة كما سبق الإيضاح ويقدم الجدول رقم7 - 6 النسبة الاختيارية selectivity ratio للمصهرات القياسية تأكيدا علي أن الاختيار صحيحا. جدير بالذكر بأنه يتم تقسيم المصهرات الي مستويات متتالية في الخواص تبعا لكل صانع ولذلك لم نعطي الرموز الشائعة لهذه المستويات بل استخدمنا الترقيم المتسلسل كي تبين لنا العلاقة المباشرة بين نسبه الاختيار في شبكات التوزيع.



الشكل رقم 7-26: التنسيق بين القاطع والمصهر

جدول رقم7- 6: النسبة الاختيارية للمصهرات بين جهتي التغذية والأحمال (المقنن بالامبير)

مستوي	(1)	(2)تاخير زمني	(4)تاخير زمني محدد لتيار		(2)	(3)	(6) تاخير زمني	
تيار مقنن (ا)	600 -0	600-15	600-0	600-0	600-0	600 -0	-601 6000	-601 6000
(6) تاخيرزمني 601-6000	-	1 : 3	1 : 3	1 : 4	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2
(6) 601- 6000	-	1 : 5	1 : 5	1 : 6	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2
(3) 0 –600	1: 4	1 : 4	1 : 4	1 : 8	1 : 3	1 : 3		
(2) 0 –600	1 : 4	1 : 4	1 : 4	1 : 8	1 : 3	1 : 3		
(4) تاخير زمني 0-600	1 :1,5	1 :1,5	1 :1,5	1 : 2	1 :1,5	1 :1,5		
(4) تاخير زمني محدد التيار 0-600	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 4	1 :1,5	1 :1,5		
(2) تاخير زمني 15-600	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 4	1 :1,5	1 :1,5		

4- عمر تشغيل المصهر Fuse Age

يهمنا دائما بصورة جوهرية العمل علي إطالة عمر تشغيل المصهر ومن ثم يلزم الآتي:

1- تحميل المصهر دون تجاوز القيمة المقننة للتيار
2- عدم تعرض المصهر لجهود اعلي من المقننة
3 - عدم استخدام مصهر بمقننات اعلي من المطلوب لان ذلك يعرض المعدات تحت الحماية للخطر
4- يلزم التعامل مع دوائر المحركات لحمايتها بالمصهر تبعا للمقننات المحددة لكل مصهر
5- يمنع استخدام مصهرات علي التوازي

5- التنسيق بين المصهر والقواطع Coordination with breakers

إذا تواجد قاطع كهربي بين المصهرات أو العكس وجب الاعتماد علي التمييز الحاد بين القاطع والمصهر كما نراها في الشكل رقم 7-26 وفيه يفصل المصهر قبل القاطع حيث يكون القاطع للدائرة الرئيسية والمصهر للدائرة الفرعية وهذا القاطع من النوع محدد التيار والزمن، وكثيرا ما تتم حماية القاطع ذاته بالمصهر وهي الدائرة المبينة في الشكل رقم 7-27 حيث نجد المصهر واقيا للمفاتيح الفرعية علي الدوائر الفرعية وهنا يجب أن يفصل القاطع أولا ثم المصهر.

6- متطلبات الأداء Requirements

يتضمن الأداء حسن التعامل والعمل بحيث نصل بالدائرة الكهربية إلي أعلي مستويات الأداء بشكل عام وفي هذا الإطار نحتاج إلي التركيز علي أهم النقاط التي تساهم إلي حد كبير في هذا الأداء مثل:

1- يجب إختيار المصهر بأداء مميز ضد أستعادة الجهد بعد الفصل
2- يلزم الأداء السريع للفصل
3- يجب رفع درجة الإعتمادية إلي أقصي درجة
4- العمل عل حماية الأجهزة المحيطة من القدرة الحرارية الناتجة عن الفصل

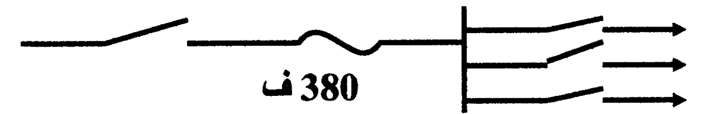
5- درجة حرارة الجو المحيط لا تزيد عن 40°م كما أن قيمتها المتوسط لا تتجاوز 35°م علي مدار الأربع وعشرين ساعة.
6- أقل درجة حرارة تمثل – 25°م
7- درجة حرارة الأجزاء المعرضة لأشعة الشمس لا تربو عن 80°م
8- جميع الخصائص الخاصة بالمصهرات تعطي القراءات عند 20°م ومن ثم يجب عمل التعديل المناسب لتغير درجة الحرارة
9- الهواء المبط يجب أن يكون نظيفا خاليا من الأتربة والدخان والغازات القابلة للإشتعال والأبخرة الملحية.
10- ضغط سرعة الرياح لا يتجاوز 700 نيوتن / متر مربع في التركيبات الخارجية
11- الإرتفاع المقنن المسموح به 1 كم لكل البيانات المقننة ومن ثم عند الارتفاع الأعلي عن الحد يلزم تعديل المقننات بمعامل التصحيح نتيجة إرتفاع مستوي المصهر فوق سطح البحر والمحدد في الجدول رقم 7 - 7 والمقترن بالمرجع للقراءات المقننة الأصلية.
12- بالإضافة إلي النقاط السابقة هناك شروطا للتمييز المتتالي في الشبكات الشعاعية ومن أهمها نجد أنه يجب ألا يقل مقنن المصهر الرئيسي عن ضعف مقنن الدوائر الفرعية.

الجدول رقم 7 - 7: معامل التصحيح لزيادة الإرتفاع مستوي المصهر فوق سطح البحر

أقصي إرتفاع ، كم	معامل جهد الإختبار	معامل مقنن الجهد	معامل مقنن التيار	معامل مقنن درجة الحرارة
1	1	1	1	1
1.5	1.05	0.95	0.99	0.98
1.9	1.11	0.91	0.98	0.95
3	1.25	0.80	0.96	0.92

5- مصهر الكابلات Cable Limiter

يضع الجدول رقم 7-8 بيانا بسعة المصهر المستخدم مع كابل في حالات مختلفة سواء كانت نوعيتها كابلات أرضية أو مسلحة أو أو معزولة بالثرمو بلاستيك داخل مواسير أم لا أو مطاطية العزل داخل مواسير والجدول يقدم النوعيات القياسية تبعا للمواصفات القياسية.



الشكل 7-27: المصهر لحماية القاطع

جدول رقم 7-8 : بيان بسعة المصهر عند وقاية الكابلات

مقطع الكابل (مم2)	كابلات مسلحة بالأرض أو موصلات معزولة بالثرمو بلاستيك بدون مواسير		موصلات مطاطية العزل داخل مواسير	
	أقصى حمل (أ)	سعة المصهر (أ)	أقصى حمل (أ)	سعة المصهر (أ)
1				
1.5	15	20	5	10
3	20	25	7	15
4	30	35	13	20
6	40	50	17	25
10	50	60	23	35
16	70	80	30	50
25	90	100	40	60
35	110	125	55	80
50	150	160	70	100
70	180	225	100	125
95	220	260		

7 – 5 : دوائر المحركات الفرعية Motor Branch Circuits

مما سبق تظهر أهمية دوائر المحركات لأنها تختلف عن دوائر الإضاءة أو التطبيقات الأخرى وهي تحتاج إلي عناية خاصة كي نصل إلي أقصى درجات الأمان وأعلي اعتمادية مع أقل حيود في هبوط الجهد علي المغذيات أو المحركات وبأقل فقد حراري ممكن وبأقل تكلفة تركيب مع البساطة والسهولة في التشغيل والصيانة والسماحية بالتطوير والامتداد مستقبلا. تعطي المواصفات أهمية خاصة لدوائر المحركات والتي تتكون من خمسة أجزاء رئيسية (الشكل رقم 7-28) كما تسمح أحيانا باستخدام قاطع واحد لأكثر من محرك وإجازة دمج وقايتي زيادة التيار وتجاوز الحمل، وهذه الأجزاء الخمسة نصفها فيما يلي. كما تتعرض المحركات الكهربية بكافة أنواعها إلي عدد من العيوب (خارجية وداخلية) والتي سبق شرحها في الفصل السابق.

الجزء الأول: الموصلات Conductors

تضع المواصفات القياسية مقتن الموصلات في دوائر المحركات بنسبة 125 % من مقتن المحرك ذاته إذا كانت الدائرة مفردة المحرك ولكن عندما تصبح الدائرة الكهربية متعددة المحركات فيحسب بالصيغة:

مقتن الموصلات = 125 % × (مقتن أكبر محرك + مجموع تيارات جميع المحركات الأخرى) (7- 12)

علاوة علي ذلك يجب الأخذ في الاعتبار تأثير كل من: (معاملات الفقد الحراري – زيادة المستوى الحراري - هبوط الجهد – معامل التغير الحراري) وهي معاملات قد تؤدي إلي زيادة مقتن الموصلات. أما بالنسبة للموصلات في دوائر محركات الضواغط المستخدمة في التبريد أو الثلاجات فنلجأ إلي مقتنات التيار الخاصة بالمحرك مباشرة بينما لباقي المحركات التأثيرية أحادية أو ثلاثية الطور فتعطي المواصفات الجدول رقم 7-9 وهو المحدد بياناته للجهد 380 ف أو 220 ف، 50 هيرتز.

جدول رقم 7-9 : مقتنات المحركات التأثيرية لجهد 380 أو 220 ف والمصهر المقتن

قدرة (ك.ف)	التيار (أ)		بدء مباشر (6 أضعاف التيار لمدة 5 ث)				بادئ نجمة /دلتا	
			مقتن مصهر (أ)		مقطع موصل (مم2)		مقتن مصهر (أ)	
جهد (ف)	220	380	220	380	220	380	220	380
0.18	0.95	0.55	2	2	1.5	1.5		
0.25	1.28	0.74	2	2	1.5	1.5		
0.37	1.82	1.05	4	2	1.5	1.5		
0.55	2.6	1.48	4	4	1.5	1.5	4	2
0.8	3.6	2.7	6	4	1.5	1.5	4	4
1.1	4.7	3.6	10	6	1.5	1.5	6	4
1.5	6.2	5	10	6	1.5	1.5	6	4
2.2	8.7	6.7	16	10	2.5	1.5	10	6
3	11.6	8.7	20	10	4	1.5	16	10
4	15.1	12	25	16	6	2.5	16	10
5.5	21	16	35	20	10	4	25	16
7.5	28	23	50	25	16	6	35	20
11	40	31	63	35	25	10	50	25
15	53	44	80	50	35	16	63	35
22	76	59	100	63	50	25	80	50
30	100	74	125	80	50	35	125	80
38	130	95	160	100	70	50	160	80
50	165	120	200	125	95	50	200	125
63	200	150	260	160	120	70	225	125
80	255	190	300	200	150	95	300	160
100	325	300	400	225	240	120	350	200
160	515						500	300

الجزء الثاني: أجهزة الوقاية Protective Device

تعمل هذه الأجهزة علي حماية المحرك وملحقاته والتي تتحدد بالأجزاء الرئيسية الأربعة الملحقة علي المحرك وتتضمن هذه الأجهزة المصهر أو القاطع سواء كان بزيادة التيار أو تجاوز الحمل وهو الأمر الخاضع للاختيار تبعا لمقنن المحرك وهذه الأجهزة لا بد وأن تتحمل تيارات البدء والتي تتجاوز إلي 6 أمثال المقنن ولمدة تقرب من 5 ث.

لذلك يجب أن يقنن المصهر علي 400 % للمحركات الكبيرة و300 % للمحركات الصغيرة مع زمن فصل متأخر لتلافي تأثير تيارات البدء، أما بالنسبة لمحركات الضواغط في دوائر التبريد بمقننات حتى 400 ك. ف. أ. فيكون مقنن المصهر 225 % فقط من الحمل الكامل، ولكن من الناحية الأخرى تنقسم هذه المحركات في التعامل داخل الدوائر الكهربية إلي نوعين كما في الشكل رقم 7-29.

هذه الحالة تفاضل عن حالتين فهي إما أن تشترك المحركات المتماثلة الصغيرة (كل منها 1 حصان) معا جميعا في دائرة واحدة بحماية موحدة كما في الشكل (أ) ويكون المقنن هو 15 أ لمقنن تيار 6 أ إجمالي للتيارات أو تشترك محركات متباينة الأحجام والقدرات ويكون لكل منها مصهر إضافة إلي مصهر عام للدائرة ككل (الشكل ب) وهنا لا يجب أن يزيد مقنن المصهر العمومي عن 4 أضعاف أصغر محرك في الدائرة كما يمكن الاستعانة بوقاية زيادة التيار.

الجزء الثالث: الضابط Controller

يشتمل الضابط علي حماية تجاوز الحمل بالصفة الحرارية والتي عادة تظهر بتواجد الترتيب السالب للأوجه NPS نتيجة عدم اتزان الجهد لأنه يسبب فيضا معاكسا للأصلي فيعوق حركة الجزء الدوار في المحرك وهو ما يعني فرملة له ومن ثم زيادة التيار فتؤدي إلي السخونة ويمثل معامل الانحراف لقيمة الجهد المتزن معملا مهما وهو

محرك

مصهر قاطع

جهاز تحكم

موصلات

الشكل رقم 7- 28

معامل عدم اتزان الجهد = أقصى تغيرعن المقنن / الجهد المتوسط (7- 13)

فمثلا تغير 5 ف لمقتن 220 ف يعادل 2.3 % وهو ما يزيد الحرارة بمعدل 10.3 % تبعا للصيغة

الزيادة في الارتفاع الحراري = ضعف مربع معامل عدم اتزان الجهد (7- 14)

الجزء الرابع: أجهزة التحكم Remote Control

يلزم ملاءمة هذا الجزء مع نوعية المحرك وخصائصه وهو إما أن يكون يدويا أو آليا.

الجزء الخامس:

المفتاح Switch

هو عبارة قاطع الدائرة عن بقية الشبكة ويقوم بفصل المحرك وملحقاته عن مصدر التغذية عند وجود قصر.

مصهر 220/15 ف

مصهرعمومي

(أ) محركات صغيرة

(ب) محركات بمقننات مختلفة

الشكل رقم 7-29: دوائر مشتركة للمحركات وحمايتها

المحور الثاني:

خصائص الاختبار

Testing Performance

يستخدم المصهر لوقاية الدوائر الإلكترونية أيضا كما لدوائر القوي وهو في هذه الحالة يحمي أشباه الموصلات (الشكل رقم 7-30) ويستعان به مع الدوائر الخاصة مثل محدد تيار الكابلات cable limiter حيث يظهر في الشكل رقم 7-31 مع تركيب الكابلات علي التوازي parallel cables وجدير بالذكر أنه مفيد أيضا في الدوائر الخاصة مثل مصهر اللحام welder limiter أو مصهر السعة capacitor fuse كما أنه يستخدم في الدوائر الإلكترونية ودوائر الوقاية.

من الهام أن يضاف العوامل الهامة الآتية واللازمة للاختبار وهي:

1- علاقة الجهد والتيار المقتن

2- تيار الصهر الأقصى fusing peak

3- الطاقة الحرارية بالمعامل $I^2 t$ بوحدات (ك.أ^2 . ث) وهي ما جاءت علي سبيل المثال في الجدول 7 - 5 لبعض أنواع المصهر القياسية .وهو معامل هام مع الدوائر الإلكترونية خصوصا مع الثيريثتور وكذلك معامل القدرة الحرارية للفصل والمحدد بالقيمة $I^2 t^{1/2}$.

4- علاقة تيار القصر المتماثل مع أقصى تيار مار peak let through بالنسبة للمصهر.

منبع

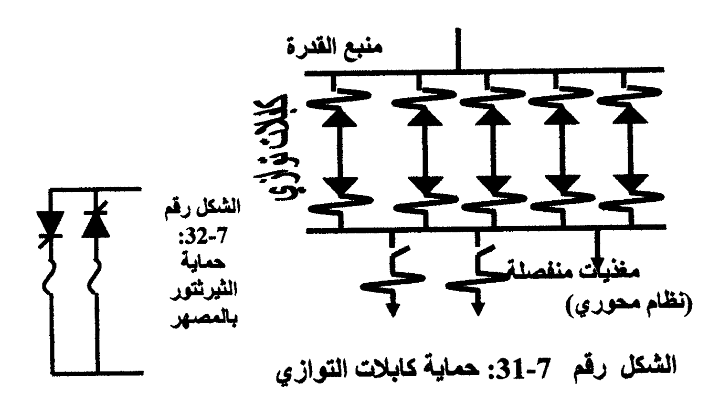
القدرة

الشكل رقم 7- 30: استخدام المصهر لحماية أشباه الموصلات

أما عن اختبار خصائص المصهر فتنحصر في الاختبارات الأساسية والتي لا بد وأن تشمل هذه الإختبارات بالمسميات التالية:

1- إختبار العزل

(مستوى العزل الكهربي مع مقنن التيار)

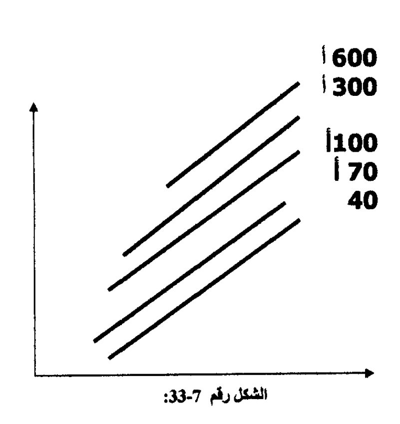


الشكل رقم 7-32: حماية الثيرنتور بالمصهر

الشكل رقم 7-31: حماية كابلات التوازي

2- إختبار ارتفاع درجة الحرارة

(تغيير التيار المقنن مع الارتفاع الحراري)



الشكل رقم 7-33:

3- إختبار الكسر (الإنهيار) الكهربي

4- إختبار خصائص التيار مع الزمن

(العلاقة بين التيار وزمن الفصل وهو ما يعرف بخصائص الفصل)

5- إختبار تأثير الموجات الكهرومغناطيسية (الراديو)

6- خواص قطع التيار (كما جاءت بالشكل 7-23).

7- إختبار الحساسية

قياس التيار الأدنى للفصل مشيرا إلي معامل الانصهار (مستوى الحساسية).

8- إختبار جودة المصهر

ينحصر ذلك في قياس أقصى تيار لا يفصل الدائرة بالمصهر وهو أيضا من العلامات المميزة لجودة المصهر.

9- قياس مقاومة المصهر للتأكد من التأثير الحراري وسلامة عمله.

كما يضاف تلك العوامل الهامة اللازمة للاختبار وهي

1- علاقة الجهد والتيار المقتن
2- تيار الصهر الأقصى fusing peak
3- الطاقة الحرارية بالمعامل I^2t بوحدات (ك.

أ^2 . ث) كما جاءت علي سبيل المثال في الجدول 7-10 لبعض أنواع المصهر القياسية. وهو معامل هام مع الدوائر الإلكترونية خصوصا مع الثيريثتور (الشكل رقم 7-32). وكذلك معامل القدرة الحرارية للفصل والمحدد بالقيمة $I^2 t^{1/2}$.

4- علاقة تيار القصر المتماثل مع أقصى تيار مار peak let through بالنسبة للمصهر وهي العلاقة المبينة في الشكل رقم 7-33 بالمقياس اللوغاريتمي.

ثامنا: عيوب المصهرات Disadvantages

تتضمن العيوب المتوافرة في المصهرات بوجه عام بالنقاط الجوهرية التي تمس مبدأ الأداء والتصنيع ومن ثم نضع أهمها في ثلاث نقاط هي:

1- لا يمكن تغيير قيمة تيار الفصل
2- يلزم تغييره بعد الفصل
3- يجب التأكد من المصهر البديل من جهة خصائص الأداء

جدول رقم 7-10: أقصى تيار مار بقصر 100 ك. أ.

نوع	مقنن المصهر (أ)	تيار الفصل (أ)	معامل الطاقة الحرارية
الأول	30	7.5	7
	60	10	30
	100	14	80
	200	20	300
	400	30	1100
	600	45	2500
الثاني	30	10	10
	60	12	40
	100	16	100
	200	22	400
	400	35	1200
	600	50	3000
الثالث	30	11	50
	60	21	200
	100	25	500
	200	40	1600
	400	60	5000
	600	80	10000
الرابع	30	14	50
	60	28	250
	100	35	650
	200	60	3500
	400	80	15000
	600	130	40000

وقاية الدوائر الكهربية الفرعية
PROTECTION OF ELECTRIC BRANCH CIRCUITS

بعد كل ما سبق من شرح في الفصول السابقة نأتي إلي فرعيات التطبيق وهو الجانب الأكثر شيوعا بين الأفراد مستهلكين أو متخصصين، فنقابل أو نواجه عددا من النقاط الأكثر إستخداما سواء في القطاع الحكومي أو القطاع الخاص المتزايد بصفة مستمرة. إن الوقاية البسيطة الأولية تكمن في إستخدام المصهرات وهي من أقدم وسائل الوقاية علي وجه الإطلاق، كما أنه سبق التوضيح بشكل مركز لهذا العنصر ولمكونات الوقاية كمنظومة أساسية ولكننا نحتاج الآن إلي المزيد من الفهم والتعامل مع هذا العنصر الهام للوقاية خصوصا مع الدوائر الكهربية. هذا لأننا كنا نتعامل مع الشبكة الكهربية الموحدة في الفصول السابقة بينما نتناول هنا الدوائر الفرعية سواء كانت للورش أو المصانع أم للأفراد والأحمال المنزلية أو في الطرقات كأحمال الإنارة المستقلة أو غير ذلك، وهذا من التوصيلات الكهربية بالمنشآت أو في التخصصات الحملية المختلفة.

هكذا ومن هذا المنطلق يكون ضروريا بسط المزيد من العمق داخل الدوائر الكهربية الفرعية المستقلة في هذا الفصل. علي الجانب الآخر يلزم أن نتناول عددا من العناصر والوسائل المختلفة المستخدمة عادة (أو شائعة الإستخدام) في الدوائر الكهربية الفرعية بكافة أنماطها بعيدا عن منظور التعامل مع الشبكة الكهربية الموحدة، حيث كانت الفصول السابقة موجهة نحو ذلك الهدف، لذا نضع بعض العناصر الأساسية من وسائل الوقاية المنتشرة فعلا لدراستها وتطبيقاتها في الدوائر الكهربية الفرعية.

8 - 1: نظم التأريض Earthing (grounding) Systems

يعني التأريض ليس فقط تاريض كل منزل على حدة بل أيضا المجمعات أو التجمعات السكنية ككل وانشاء شبكة ارضى لها كاملة، وذلك لحماية كل السكان في هذة المنازل أو المناطق من الخطورة. كما يجب التأكد بصفة دورية ومستمرة من أن قيمة مقاومة الارضى الكهربية فى الحدود المسموح بها طبقا للمواصفات العالمية كنقطة امان هندسية، وهذه النوعية من التأريض تعتبر محليا بالمنطقة حيث الإستهلاك الكهربي. هكذا نستعرض نظم التأريض الأساسية (TT و TN و IT)، ولهذا نضع الرموز الأساسية في موضوع التأريض محورا لفهم نظم التأريض، حيث أن مسميات نظم التأريض الأساسية تتكون من حرفين فالحرف الأول يعني التوصيل بين الأرض والشبكة الكهربية (مولد أو محول) بينما رموزه المستخدمة قد جاءت في الجدول رقم 8 – 1 من أجل سهولة الفهم لوسائل التأريض المختلفة. أما الحرف الثاني فهو يعني التوصيل بين الأرض والمعدة أو الجهاز المستخدم ولذلك نجد ان الرموز الخاصة به قد أدرجت في الجدول رقم 8 – 2.

الجدول رقم 8 – 1: معني الرموز المستخدمة للحرف الأول في نظم التأريض (TN, TT, and IT)

الرمز	المعني
T	توصيل مباشر بين النقطة والأرض
I	لا يوجد توصيل بين النقطة والأرض إلا إذا كانت مكونة ذات مقاومة عالية جدا لدرجة إمكانية إعتبارها دائرة مفتوحة

الجدول رقم 8 – 2: معني الرموز المستخدمة للحرف الثاني في نظم التأريض (TN, TT, and IT)

الرمز	المعني
T	توصيل مباشر مع الأرض بغض النظر عما إذا كانت المنظومة مؤرضة فعلا أم لا
N	التوصيل مع الأرض من خلال نقطة التعادل

أولا: نظم التأريض الأساسية

نتعامل هنا مع المبدأ الأولي لمعني التأريض حيث ينبع بعضا من الأشكال المتوالدة عن هذه النظم الأساسية وهي ما يمكننا أن نضعها في السياق التالي:

1- نظام التأريض الوقائي IT {*protective earth* (PE)}

هذا النظام بجانب التأكيد علي حماية الأفراد من جهد التلامس نتيجة الكهرومغناطيسيات يكون واقيا لأي تلامس داخلي في الدوائر الكهربية إذا ما إنهار العزل الكهربي للأجزاء الحاملة للتيار الكهربي داخل المعدة أو الجهاز، والذي سوف يتسبب في غمز أجهزة الوقاية الخاصة بالزيادة في التيار over current protection مؤديا إلي تشغيل القواطع المنمنمة MCB أو المصهرات fuse حسب الأحوال.

هكذا نجد أن نظام التأريض الأولي وهو المسمي "نظام التأريض IT" قد ظهر كدائرة كهربية في الشكل رقم 8 – 1 حيث يظهر من الشكل أن التأريض يتم للأجسام المعدنية التي داخلها أسلاك مكهربة دون التلامس مع نقطة التعادل وذلك من خلال السلك PE.

يتم التاريض المحلى بالموقع العام فى الابنية الكبيرة او على مسافات متباينة فى المدن حتى نمنع قيمة جهد نقطة التعادل من تجاوز القيمة المسموح بها، ونستطيع تنفيذ ذلك من خلال ثرى قطبا نحاسيا او عددا متوازيا منها داخل الارض على عمق كبير من سطح الارض وطبقا للمواصفات. يتم اختيار القطب أو الأقطاب المتعددة من مادة النحاس لأن مقاومتها النوعية اقل من بقية المعادن بالرغم من ان الذهب أقل فى القيمة الا انة باهظ الثمن، وقد يشكل خطورة لتعرضة للسرقة اذا ما تم استعماله.

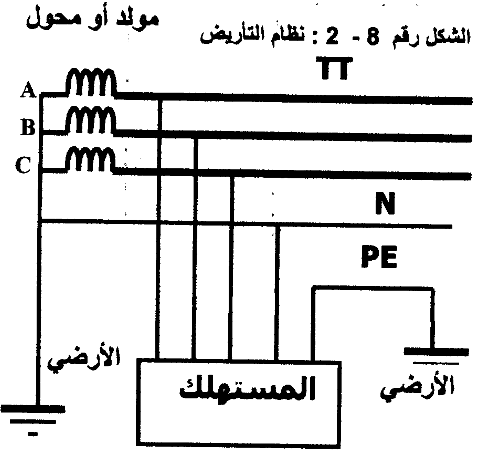
يصلح هذا النوع من التاريض للمناطق الصناعية الصغيرة وللمبانى ضخمة الاستهلاك الكهربى علاوة على انة هام للمنازل الصغيرة ايضا، ولكنه لا بد من الإستعانة بالمتخصصين (من شركات الكهرباء او الشركات المتخصصة في أعمال الكهرباء) - حتى نتاكد من المقتنات القياسية والخضوع للمواصفات الدولية - خصوصا وان هذا التاريض قد يؤثر بطريقة غير مباشرة على قيمة التيارات القصرية التى تمر بالقواطع الكهربية وتزيد بقدر غير محسوب قد يفوق حدود تشغيلها فتؤدى الى تدميرها.

الشكل رقم 8 - 1: نظام التأريض IT

نظام التأريض IT هو المناسب للتوصيلات الكهربية عند أطراف التوزيع للأماكن عالية الإستهلاك مثل المعامل والمستشفيات ومواقع البناء، حيث العاملين في هذه المواقع، كما هو هاما في الورش وأماكن الإصلاح بشكل شمولي. من الجهة الأخري ينصح باستخدام نظام التأريض هذا في المواقع كثيفة الأحمال والتي بها تعاملا بشريا متعدد ومع الأطفال مثل المدارس وكذلك يلزم الإعتماد علي هذا الأسلوب مع المواقع مرتفعة المستوي من ناحية الخطر نتيجة انهيار العزل الكهربي للملفات والأجهزة العاملة فيها.

2- نظام التأريض الوقائي TT

نظرا لأن المعدات والأدوات الكهربية المستخدمة تقف علي الأرض بشكل ما سواء مباشرة أو داخل الأبنية أو حتي فوقها، وحيث أن جهد الأرض عامة لا يساوي الصفر هندسيا من وجهة النظر الكهربية، فاننا نحتاج إلي تأمين إستخدام هذة الأجهزة والمعدات والأدوات ضد ظهور الجهد الكهربي المميت أحيانا. بهذا يكون ضروريا التعامل مع هذه الدوائر الكهربية والتي تغذي هذه المعدات بالقدرة الكهربية بشكل آمن، ومن ثم تكون هناك الحاجة الماسة لوضع جميع الأجسام المعدنية لكل المعدات والأجهزة التي يتعامل معها الفرد علي الجهد الكهربي الصفري. هذا التفكير أساسيا لحماية النقاط والأسطح المعدنية من تأثيرات المجالات الكهرومغناطيسية أيضا وتكون هناك المباديء الأولية لهذه النوعية من الوقاية.



الشكل رقم 8 - 2 : نظام التأريض TT

بقول آخر قد يتساءل البعض عن السبب فى احتراق مفتاح ما ويكون السبب نتيجة انه تم وضع تاريض محلى بعد تنفيذ التصميم دون علم المتخصصين، لأن التاريض يدخل في دائرة التتابع الصفري وهو التيار المار في الأرض. ومن ثم تظهر التغيرات في قيمة تيار

القصر وهو ما يعتمد على قيمة التيارات الصفرية المارة بالارض مزيدا من قيمتها خصوصا وانه عند تصمصم الشبكات عادة يتم تقطيع مسارات هذه التيارات حتى تصبح الدائرة الصفرية غير محسوبة على الاطلاق فتقل قيم التيارات الطورية أثناء القصر وهي التى نحتاج الى خفض قيمتها بقدر الإمكان خلال قطعها بواسطة المفاتيح الكهربية. هكذا نجد ان كثرة هذة النقاط التاريضية قد يسمح بمرور التيارات الصفرية بينها مزيدا من قيمة التيارات القصرية وهو ما يلزم اعتباره عند التصميم ايضا وقبل إختيار المفاتيح الكهربية لاحتواء التاريض المستقبلى فى المنطقة والتى تتاثر بذلك الوضع.

مولد أو محول

الشكل رقم 8- 3 : نظام التأريض TN-S

A

B

C

N

PE

الأرضي

المستهلك

المستهلك

ثانيا: نظم التأريض التنفيذية

وضعت المواصفات الدولية القياسية نظما متعددة للتأريض وهو المعنى الذي يفيد بأن نضع جميع الأجسام المعدنية لكل المعدات والأجهزة العاملة بالطاقة الكهربية علي الجهد الصفري وهي النظم الواردة في السطور القليلة التالية.

تنطوي هذه النظم المختلفة والمتباينة علي التنفيذ العملي والتطبيقي للمبادئ السابق ذكرها وذلك من خلال التركيبات أو التمديدات الكهربية بوضع بعضا من التوصيلات الكهربية عموما بناء علي النظم السابقة. كما يمكننا أن نطرح هذه النظم التطبيقية للتأريض في ثلاث أنماط قياسية تبعا للمواصفات الدولية كما هي مجدولة في الجدول رقم 8 – 3، ومن ثم نستعرضها علي وجه الإيجاز كما هو آت:

الجدول رقم 8 – 3: التفصيل لنظم التأريض القياسية تبعا لمسميات المواصفات الدولية (TN-C-S, TN-C, and TN-S)

م	نظام التأريض	رقم الشكل	التفصيل
1	TN-S	3 - 8	كلا من الموصلين PE و N عبارة عن موصلات منفصلة حيث يتم توصيلهم مع مصدر الجهد عند المنبع فقط
2	TN-C	4 - 8	الموصلات المجمعة PEN يعملون جميعا بدلاً من PE و N المستقلين
3	TN-C-S	5 - 8	جزء من الشبكة يستخدم الموصل PEN فقط مشتركا كلا من PE and N كفرعين مستقلين

يعطي الجدول رقم 8 – 3 الإطار الأولي للمسميات الأساسية لنظم التأريض القياسية الثلاثة وهي من المقننات المتداولة عالميا وتعتبر التنفيذية بشكل أوسع، حيث نجد أنها سوف ترد تفصيلا في السطور التالية مع العلم بأن هذه الرسومات هي الموجودة فعلا بالمواصفات القياسية الدولية وهي أيضا المتبعة في المجال التنفيذي في جميع البلدان. إضافة إلي ذلك فان هذه النظم التأريضية تهم أعمال الوقاية بالدرجة الأولي لأنها تدخل في دائرة التتابع الصفري كما سبق الشرح لهذه النقطة.

1- النظام TN-S

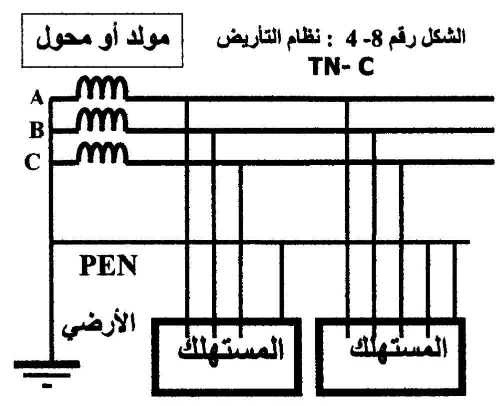
هذا النظام يمثل شبكة كهربية بنظام التأريض TNLS حيث لا يتم توصيل ارضى الشبكة N مع التاريضى المحلى PE فتكون كلا منها موصلات منفصلة تماما ولكنه يتم توصيلهم مع مصدر الجهد عند المنبع فقط أي أن كلا من موصلي التأريض والتعادل منفصلين عمليا ولكنهما متصلان كهربيا عند المنبع.

يستخدم النظام TN-S في المناطق والمنازل الريفية urban and suburban homes عموما بينما يستخدم الأرضي بسلك مستقل ككابل، كما يتم توصيل نقطة التأريض بجراب lead sheath الكابلات الكهربية underground cable وذلك في النظام TN-S.

يظهر في هذا النظام تواجد خطين (موصلين) كهربيين بالجهد صفر علي طول الدوائر الفرعية جميعا وبلا إستثناء أحدهما يخص نقطة التعادل وهو موصل التعادل N بينما الخط الثاني يخص نقطة التأريض المحلي وهو يعتبر موصل التأريض PE. هذا بالإضافة إلي أن كلا من الموصلين متصلان معا في بداية التغذية للدائرة الفرعية أو لمجموعة الدوائر الكهربية الفرعية معا، كما يوضحه الشكل رقم 8 – 3.

2- النظام TN- C

في هذا النظام من نظم التاريض تكون الموصلات PEN (موصل وحيد) يعملون بمفعول كلا من موصل نقطة التعادل N وكذلك موصل التاريض المحلي PE المستقلين ليصبحا موصلا واحدا وبأسم PEN حيث أن هذا مسمي قياسيا في جميع المواصفات القياسية. اي أنها عبارة عن شبكة كهربية بنظام TN-S ولكن فيها يتم توصيل ارضى الشبكة مع التاريضى المحلى كما هو موضح في الشكل رقم 8 – 4.

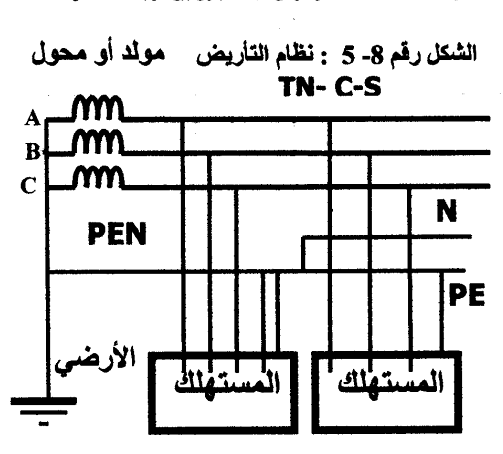


الشكل رقم 8- 4 : نظام التأريض TN- C

شاع الإعتماد عي هذا النظام في التأريض في المناطق القديمة في كافة المدن والقري حيث عادة ما كانت التوصيلات الكهربية تعتمد علي نظام TN-C للتأريض، ولذلك في الوقت الراهن يجب تعديل هذه كافة توصيلات المنظومة إلي النظام TN-S. هذا الإجراء هاما لأن هذه النظم غير مناسبة في المنازل خصوصا وأنه لا يفضل إستخدامه حاليا في الدوائر الفرعية أو في شبكات التوزيع الكهربي.

3- النظام TN- C-S

في هذا النظام نجد أنه جزء من الشبكة يستخدم فقط نظام الموصل المسترك لكلا من نقطة التعادل وموصل التأريض والمعروف باسم PEN مشتركا معا بينما قد يتفرع إلي كلا من موصل التأريض PE بجانب موصل نقطة التعادل N كفرعين مستقلين في الجزء الآخر من الشبكة وهو ما يظهر بجلاء في الشكل رقم 8 – 5. معظم المنازل الحديثة سواء في أوروبا أو أمريكا تستخدم النظام التاريضي TN-C-S حيث يكون الجزء المشترك combined لكلا من خط التعادل neutral والأرض earth يكون بين أقرب محطة محولات والمستهلك مع ضرورة تركيب مصهر قبل الأجهزة الستخدمة بشكل عام، ويليه الجزء المستقل لكلا من خط التعادل وجميع التوصيلات الكهربية الأخري.



الشكل رقم 8- 5 : نظام التأريض TN- C-S

مما سبق يظهر أن هذه النوعيات من التاريض تعمل علي الوقاية من زيادة التيار في الدائرة الكهربية بجانب حماية الأفراد من الصدمات الكهربية Electric Shocks، إلا أنه من الضروري التأكيد علي أن هذا النظام من التأريض قد يسمح بمرور تيارات في حالات التشغيل العادية. عندئذ يتم ضبط أجهزة الوقاية مع حساب وجود الحدود القصوي المسموحة لمرور التيار في هذه الحالة وكذلك عند الحاجة في بعض الحالات إلي استخدام مرشحات (-electromagnetic compatibility filter) أو مانعات الصواعق (anti- surge) أو مع بعض أصناف الإريال (antennas)

وكذلك مع أجهزة القياس (various measurement instruments). ولهذا يكون من الضروري التعامل مع هذه النوعية من التأريض بدراسة وافية ودقيقة لكل الحالات التصميمية.

ثالثا: خصائص نظم التأريض

Performance of Earthing Systems

يتم وضع الخصائص الأساسية وبصورة مركزة للتوضيح الهندسي في النقاط التالية.

1- الناحية الإقتصادية Economic Side

النظام TN إقتصادي منخفض التكلفة cost مع معوقة التأريض الصغيرة عند التعامل مع كل مستهلك منفردا مما يفيد تركيب أرضي محلي لكل مستهلك في موقع الإستهلاك. علي الجانب الآخر من هذه الحالة وفي نظامي IT و TT نحتاج إلي حماية للتسرب الأرضي وضبطه protective earth.

النظام TN-C يوفر ثمن الموصل المضاف لتغطية الموصلات المنفصلة وهي الأرضي PE وخط التعادل N ومن ثم يرتفع مستوي الخطر نظرا لإحتمال إنقطاع خط التعادل إضافة إلي ضرورة الإعتماد علي نوعيات كابلات تسمح بهذا العدد من الموصلات داخل الكابل.

يحتاج النظام TT إلي الوقاية بزمن متأخر تبعا لنظم التمييز السابق شرحها مثل الوقايةRCD downstream. يخضع هذا النوع من الوقاية لقانون كيرشوف الثاني والخاص بمجموع التيارات عند العقدة تبعا للمعادلة:

$$I_{L1}+I_{L2}+I_{L3}+I_{N} = 0 \qquad (8-1)$$

حيث يتم ضبطه مع القيمة العملية (typically 10-500 mA).

2- الأمان الكهربي Electric Safety

جدير بالذكر أن نقطة التعادل في منظومات القوي ثلاثية الطور (عديدة الطور) غير المتماثلة عموما تتحرك (تتزحزح) عن وضعها الأصلي، بهذا المنطلق لا يجوز وضع نقاط فاصلة plug/socket لنظم التأريض المختلفة نظرا لإرتفاع معامل الخطورة نتيجة التركيبات عند التوصلات اليدوية. يرتفع معامل الخطورة أكثر إذا ما تم إستخدام كابلات ذات عزل (قد ينهار) في التوصيلات الخاصة بنقاط التأريض.

إذا ما حدث قصر نتيجة لإنهيار العزل الكهربي في النظام التأريضي TN مما سوف يتسبب في غمز متمم الوقاية الخاص بزيادة التيار over current فيعطي الأمر بالفصل التلقائي للقاطع circuit-breaker أو تشغيل المصهر fuse بالدائرة الكهربية المعنية أي يفصل الدائرة. أما في النظام TT ترتفع قيمة تيار القصر نتيجة دخول كل دوائر التوزيع الفرعية معا علي التوازي في دائرة الترتيب الصفري مما يستدعي تركيب الوقاية المميزة RCD.

عادة ما يظهر هذا العيب في نظم التأريض TN-S، TT وفي بعض الأحيان مع النظام TN-C-S عند فصل التوصيلات مما يدعونا إلي إستخدام وقاية التسرب الأرضي residual-current device إلزاميا كنوع من الوقاية الإحتياطية، خصوصا وأنه قد يهمل المستهلك هذه النقاط الفنية المتخصصة حيث أن إحتمالية القصر بين الطور وخط التأريض PE أو خط التعادل. بالرغم من ذلك نجد أنه أيضا لا يفضل إستخدام أجهزة قياس التيار المتبقي current residual (الوقائي) في النظامين IT ، TN-C في مجال البحث عن الكسر الكهربي للعزل، بينما في النظام التأريضي TN-C نجد أنها ستكون أكثر عرضة للتلامس triggering غير المرغوب بين نقاط التأريض ونقطة التعادل الفعلية مما يجعله غير عملي في الإستخدام. جدير بأن نحدد أن النظام TT قد يعبر عن أفضل الحلول الفنية لتلافي إشتراك كلا من نقطتي التعادل والتأريض.

في نظامي التأريض TN-C-S و TN-C أنه إذا ما حدث فصل بين نقطتي التعادل والتأريض (بعيدا عن الأطوار حاملة التيارات) قد يتسبب نظريا في رفع الجهد للأعمال المعدنية المتواجدة إلي جهد خطر عي حياة الإنسان. كما أنه إذا ما حدث أي إتصال ما بين نقطة الربط بين نقطتي التعادل والتأريض مع جسم الأرض قد يؤدي إلي تلاشي قيمة التيار في التشغيل العادي وقد يسمح بالقيمة الأكبر من التيار في حالات قطع الإتصال مع نقطة التعادل، مما يشكل عيبا هندسيا ولذلك لا ينصح باستخدام النظام TN-C-S للتأريض في المواقع البترولية مثل محطات البنزين والتي يتم بنائها فوق الخزانات المعدنية (تحت أرضية buried metalwork) بجانب تواجد الغازات القابلة للإنفجار explosive gases.

من الملاحظ أنه في النظم مفردة الطور مشتركة في نقطتي التأريض والتعادل (مثل النظام TN-C وجزء TN-C-S من المنظومة عند المشاركة في نقطتي التعادل والتأريض) وذلك بسبب عزل جميع النقاط في الدائرة الكهربية بعد أية نقطة تصبح مفتوحة في الخط PEN مما قد يتسبب في رفع الجهد الخطي علي التوصيلات بها.

يتميز نظام التأريض IT بفعاليته وحساسيته للجهود الزائدة overvoltages بالنسبة لبقية نظم التأريض، بينما يعيبه أنه في حالة حدوث كسرا للعزل تنتج تيارات خطرة في جسم الأنسان (جهد التلامس) والملامس للجسم المعدني من المعدات الكهربية ذلك لأن مقاومة الأرضي تكبر مما يجعل جسم الإنسان موصلا علي التوازي معها ويتم توزيع التيارات بين جسم الإنسان وسلك التأريض (عالي المقاومة) بالنسبة العكسية للمقاومات فيصبح بذلك كبيرا بالنسبة للأنسان. ومع ذلك فان ذلك يعمل علي تغيير طبيعة نظام التأريض IT إلي TN النظام في اول كسر للعزل أما بعد ذلك فالتكرار لكسر العزل يؤدي إلي الخطورة المذكورة. تزداد هذه العيوب خطورة مع

الشبكات الكهربية متعددة الأطوار إذا ما حدث الإتصال المباشر بين أحد الأطوار وسلك التأريض فقط مما يؤدي بالتالي إلي رفع جهد الأرضي بالنسبة لمستوي التأريض كما يتسبب في رفع قيمة الجهد بين الأطوار أيضا بجانب الجهد بين الطور ونقطة التعادل.

3- أسلوب الضبط الكهربي Regulations

في الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والمملكة المتحدة البريطانية يتم توصيل نقطة التعادل مع نقطة التأريض عند محول التوزيع ويخرج سلك التعادل مؤرضا ليمتد إلي التوصيلات المنزلية.

يتم تنفيذ وتطبيق هذا النظام الخاص بالتأريض في الدوائر الكهربية الفرعية عادة في التركيبات الكهربية المنزلية سواء كانت التغذية مفردة الطور (طور وحيد وسلك تعادل) أو طورين أثنين فقط مع سلك تعادل أو للنظام ثلاثي الطور. ذلك عادة يكون أما مع استخدام الفصل بين نقطتي التعادل والتأريض داخل المنشآت باستخدام النظام **TN-C-S**. كما نكون في أمس الحاجة إلي هذه النظم في المنشآت الصناعية والتركيبات الصناعية وتلك الهامة في ميدان الصناعات البترولية بل والتنقيب سواء عن النفط أو في المناجم والمحاجر خصوصا وأنها تمس الثروات المعدنية.

يجب توصيل نقطة التعادل مع نقطة التأريض عند بداية التغذية الكهربية لكل مستهلك أي عند بداية (مدخل) الوحدة السكنية وقبل الدخول علي القواطع الكهربية المنزلية أو القواطع المنمنمة.

تضع المواصفات القياسية الأمريكية أن يتم توصيلات نقطة التعادل ونقطة التأريض (منفصلتين) علي كامل التركيبات المنزلية بعد القواطع المنمنمة أيضا ولا يكتفي بها عند المدخل فقط. بينما في فرنسا والأرجنتين يلتزم المستهلك بتوصيل قطب التأريض الخاص به علي النظام **TT**.

يفضل إستخدام النظام **IT** للتأريض في المعامل **Laboratory** والتجهيزات الطبية **medical facilities** ومواقع البناء **construction sites** وورش الإصلاح **repair workshops** وغيرها حيث تزداد خطورة **risk** تأثير الكسر الكهربي، وذلك من خلال إستخدام محول توزيع غير مؤرض **isolated transformer**، وهذا يتم للعدد الصغير من الأحمال أو الإتجاه نحو إضافة وسائل للوقاية. بهذا يستعان بهذا النظام في التأريض مع المراجعة المرئية من خلال شاشات عرض ووقايات مكملة في غرف العمليات والمستشفيات والأماكن المماثلة.

8– 2: وقاية الدوائر المتوازية Parallel Circuit Protection

إنطلاقا من الهدف الأصلي للوقاية ندخل إلي الموضوع من حيث الغرض وأسلوب التنفيذ العملي في نطاق الشبكات الكهربية أو الدوائر الكهربية المنفصلة والمستقلة. نجد أن المبدأ العام للوقاية هو التكامل الوقائي لكل دائرة فرعية وبالتالي لكل منظومة وقائية من أجل تغطية النقاط الميتة في الوقاية داخل الشبكة أو حتي لتستكمل الوقاية في المناطق والنوعيات منخفضة الحساسية. هكذا نصل بمفهوم التكامل الوقائي لكل دائرة فرعية ثم للشبكة الكهربية ككل بأسلوب منظومة الوقاية، وبالتالي يمكن تجزئة الشبكة الكهربية المعقدة إلي مناطق متتابعة بقدر الإمكان.

الشكل رقم 8 - 6

100 أ

جدير بالذكر أن الدوائر المتوازية متواجدة في جميع المواقع الكهربية سواء كانت منتجة أو مستهلكة للطاقة الكهربية علي حد سواء، ومن ثم يكون ضروريا التعامل مع الأسس الهندسية التي يجب أن تؤخذ في الإعتبار عند التنفيذ أو الإشراف أو حتي التفتيش الهندسي عليها.

تظهر الأهمية البالغة لهذا الموضوع نظرا للتشابك المعقد والمتداخل في الشبكات الكهربية بين خطوط النقل الكهربي أو بين المغذيات في نطاق التوزيع الكهربي، مما يقودنا إلي إعادة النظر إلي أسلوب الضبط الزمني للفصل التلقائي مع الأخطاء الكهربية المختلفة خصوصا مع الوصول إلي المناطق الحرجة في الوقاية. تظهر هذه النوعية بالذات مع نظم الوقاية بالفصل الزمني المتدرج **Graded Protection** حيث النظم المختلفة السابق شرحها من خلال الفصول السابقة في هذا الكتيب. هكذا وبالمراجعة للفصل الزمني نتيجة التداخل الكهربي ينتقل هذا التداخل إلي دوائر الوقاية الزمنية، وهو ما يدعونا إلي زيادة زمن الفصل التلقائي في كثير من الحالات بمدة كبيرة قد تسمح باستمرارية تواجد الخطورة نتيجة تواجد القصر (تيارات القصر الهائلة) لفترات زمنية أطول.

هكذا نجد أن التعقيد الشديد في الضبط الزمني داخل الشبكات الكهربية قد يعود بالضرر علي المعدات بينما تختفي هذه الظاهرة في الدوائر الكهربية الفرعية عند أطراف المغذيات أو حتي في الدوائر الكهربية المستقلة بعيدا عن الشبكة الكهربية. كما تنتشر الدوائر الكهربية الفرعية عند أطراف شبكات التوزيع الكهربية أو أنها قد تكون مستقلة تماما في بعض الحالات، وبذلك يلزم وضع منظومة وقاية متكاملة لكل منها بصفة مستقلة.

لهذا السبب يتم عادة في أغلب الأحيان تركيب متمم (مرحل) وقاية تيار الأرضي **Earth Current Relay** عند أطراف النهاية لمحولات التوزيع **Distribution Transformers** – أي عند مداخل المغذيات **Feeders** – وخصوصا مع المحولات غير المؤرضة، ويؤسس هذا المبدأ بتركيبها علي اطراف منطقة الوقاية الخاصة بالدائرة الكهربية الفرعية. ومن ثم نضع بعضا من الأسس الجوهرية للتعامل مع الدوائر الكهربية الفرعية من خلال السطور التالية.

أولا: وقاية الكابلات المتوازية (المغذيات) Parallel Cable Protection

وقاية الكابلات بشكل عام قد سبق شرحه من قبل ولكننا نتعرض هنا لموضوع توصيل الكابلات عليا لتوازي وخصائص دوائر الوقاية العاملة في المنظومة بشكل خاص. نبدأ من حيث أن يكون لدينا دائرة كابل كما في الشكل رقم 8 - 6 حيث طابع الدائرة محوريا (إشعاعيا) من ناحية التغذية الكهربية، وهو ما يعني أن المصهر بقيمة مقننة للفصل. ذلك أنه بفرض أن المصهر بالقيمة 100 أمبير مثلا نجد أن الحماية كاملة لهذا الكابل وإمتداده أيضا سواء كوقاية أساسية لكل الكابل أو أساسية في الجزء الأول ومرحلة إحتياطية في الباقي.

الشكل رقم 8 - 7

كابل 1

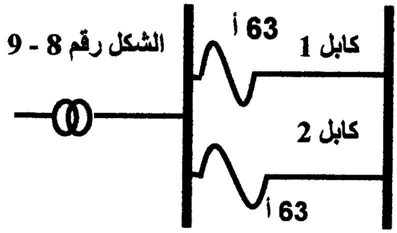
كابل 2

100 أ

نتناول الظواهر الكهربية المختلفة مع أوضاع التشغيل المحتملة لتوصيل الكابلات في دوائر علي التوازي وهي الأوضاع التي قد تنتج عن القيمة العالية المطلوبة للتيار بينما مقننات الكابلات المتوافرة في الأسواق غير كافية للتغطية المباشرة مما قد يجعل المهندس التنفيذي والمصمم أيضا إلي اللجوء لتوصيل الكابلات علي التوازيومن ثم نضع بعضا من هذه الحالات الهامة علي النحو التالي:

1- وقاية زيادة التيار Over Current Protection

هذه الكابلات مغذيات محورية وقد سبق الشرح لمنظومات الوقاية ودوائرها في حالات متعددة، أما إذا تحول الشكل إلي توصيل علي التوازي مباشرة أي أن البداية مشتركة للكابلات والنهاية مشتركة أيضا فنصل إلي الدائرة المبينة في الشكل رقم 8 - 7. مع التعامل بالشكل الموضح يكون سليما من ناحية القصر فالحماية موجودة لكل كابل علي حدة وهناك حماية أساسية علي التوصيل المتوازي للكابلين (الشكل رقم 8 - 8)، ولكن الوضع يختلف إذا ما تم الإعتماد علي الوقاية العمومية (مصهر 100 أمبير) فقط في هذه الحالة لا يوضع مصهرات علي كل كابل وبالتالي نصل إلي وضع غير صحيح للوقاية أحيانا.



من الضروري توضيح هذا العيب ووقت ظهوره حيث أنه في التشغيل العادي مع التوصيل الكامل للدائرة يكون الوضع سليما لهذا الوضع تحديدا، أي أن المصهر 100 أ كاف لحماية كلا الكابلين. من الناحية الأخري إذا ما تغير وضع اي من الكابلين، أي أن أحدهما خارج الخدمة والثاني فقط الذي يعمل وهو ما يفيد بأن المصهر 100 أ هو الواقي له بالرغم من أن الكابل الواحد لا تصل به القيمة المقننة للوقاية إلي هذا الحد وهو الذي لا بد وأن يكون ما يقرب من نصف القيمة. هكذا نجد أنه مع الحساسية المنخفضة للوقاية من زيادة التيار قد يكون المصهر الوحيد ذلك خطرا وضارا بالكابل (الشكل رقم 8 – 8).

الشكل رقم 8 - 9

63 أ

كابل 1

كابل 2

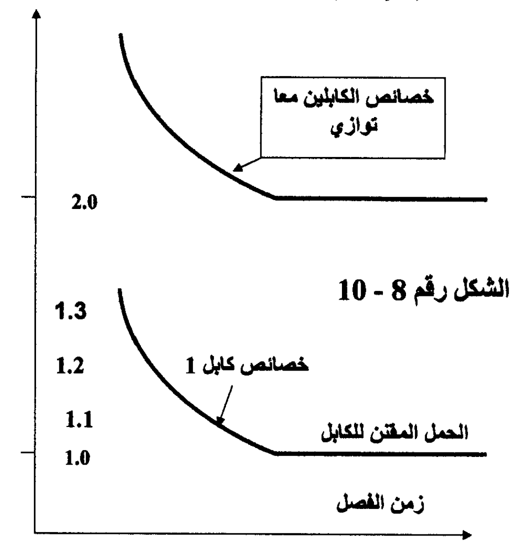
63 أ

علي الجانب الآخر نجد أن التوصيل المعاكس لهذه الدائرة قد يكون أفضل، أي أن المصهر يوضع علي كل كابل بدون المصهر الرئيسي بالرغم من أن هذا يقلل من قيمة معامل الإعتمادية لتشغيل الشبكة أو بالمعني الصحيحي تشغيل الدائرة (الدوائر) الفرعية، وهو الوضع الذي نراه في الشكل رقم 8 – 9 حيث أن الوقاية لكل كابل علي حدة تتحقق مع الحماية للكابلين في دائرة موحدة محققة أيضا لكل منهما علي إنفراد.

جدير بالذكر أن أفضل توصيل هو ذلك الذي جاء في الشكل رقم 8 – 6 حيث الوقاية الفردية والكلية قد تحققت علاوة علي الإعتمادية العالية في التشغيل.

2- وقاية تجاوز الحمل Over Load Protection

تظهر وقاية تجاوز الحمل كأحد أعمدة الوقاية لدي المستهلك العادي والمستخدم للأجهزة والأدوات الكهربية والتي عادة تتعامل بأسس تجاوز الحمل، ولذلك تظهر أهمية لتوصيل الكابلات الكهربية علي نفس السياق فنجد أن المستهلك يتعامل مع هذه الكابلات وخصوصا علي الجهد المنخفض بشكل تلقائي. لهذا نجد أن توصيل الكابلات علي التوازي يخضع لبعض من الأسس التي يجب أن تؤخذ في الإعتبار، فالكابل يصمم علي المبادئ الحرارية قبل الكهربية (بمعني الأهمية). ولما كانت وقاية تجاوز الحمل تعتمد بالدرجة الأولي علي الزيادة الحرارية في مكونات الكابل – وأهمها هو العزل الكهربي - كان من الضروري الحفاظ علي الكابل من هذه الحرارة الزائدة عن الحدود المسموح بها.



الشكل رقم 8 - 10

تخضع ظاهرة الوقاية لتجاوز الحمل المقنن لمبدأ جوهري وهو الإنتقال الحراري لفترة محدودة من الزمن وهو ما يبين كما سبق الشرح للتغير النمطي الوارد في الشكل رقم 8 – 10 والذي يوضح السماحية الزمنية لمرور تيار أعلي من المقنن. عندما يتم الإعتماد علي الوقاية بتجاوز الحمل نجد أن الشكل رقم 8 – 9 يعطي وقاية تجاوز الحمل بجانب المصهر علي كل كابل منفردا كما في الشكل رقم 8- 7 فيكون القياس الحملي سليما تبعا لما هو مبين في الشكل رقم 8 – 10 حيث القيمة المحسوبة هي الصحيحة.

بينما علي الجانب الآخر نجد أنه في الشكل رقم 8 – 8 إذا ما إختفت وقاية تجاوز الحمل حيث أيضا يختفي تواجد المصهر وبالتالي يكون تواجد وقاية تجاوز الحمل مع المصدر الأولي لكلا الكابلين معا، ومن ثم يكون القياس الحملي فيه خطأ حتي وإن كانت الدائرة كاملة وسليمة من ناحية وقاية زيادة التيار. ذلك أن الحمل المقنن في هذه الحالة سوف يكون مرجعيا للقيمة المرادفة للحمل الكلي وهو في الحقيقة الضعف، ومن ثم يكون المستوي الفعلي لتجاوز الحمل نصف القيمة المتواجدة. تظهر هذه المبادئ بجلاء مع الدوائر الإلكترونية كما شاهدناها من قبل في الفصل السابع من هذا الكتيب والذي بينه الشكل رقم 7 – 15 لدائرة تيار مستمر متعددة القناطر (رباعية) ثلاثية الوجه حيث تم وضع مصهر لكل موحد مستقلا وبلالتالي إذا ما كانت هناك حاجة لوضع حماية تجاوز الحمل عليها يجب أن تتم بنفس النظام، وهو أيضا ما يتم مع الكابلات بوجه خاص كما وضحنا ذلك في الشكل رقم 8 – 10.

ثانيا: وقاية تشغيل المضخات (الطلمبات) Pump Protection

تعمل المضخات سواء المائية أو السائلية أو حتي تلك الغازية بالضخ عن طريق التشغيل التحويلي من الطاقة الحركية Dynamic Energy (الديناميكية) وهذه الطاقة الأخيرة عادة تأتي من المحركات الكهربية وحيث أنه سبق شرح الأجزاء الرئيسة لدائرة المحرك الكهربي Electric Motors كما اوردها الشكل رقم 7- 28، حيث يكون هناك المفتاح الرئيسي Main Circuit Breaker في الدائرة ومعه في أغلب الأحيان الوقاية من زيادة التيارOver Current (تيار القصرShort Circuit Current). بالمثل كما سبق التوضيح بالنسبة للكابلات العاملة علي التوازي كهربيا نأتي هنا لوضع نفس الوضع وعلي نفس المنوال لأنه أسلوب متكرر من حيث المبادئ الكهربية.

1- وقاية زيادة التيار Over Current Protection

بالرغم من أن هذه الدوائر قياسية إلا أنه عند التنفيذ تظهر عدد من المشكلات التطبيقية فمثلا قد نحتاج إلي التعامل مع مضخات المياه وهي التي غالبا تكون مضخة واحدة لعدد من المشتركين (المقيمين) في وحدات سكنية متغايرة، فالشكل رقم 8 – 11 يبين الدائرة

الكهربية لمحرك كهربي له قاطع مزود بوقاية زيادة التيار بدلا من المصهر (الشكل رقم 8 – 11، أ) أو في وجوده أيضا (الشكل رقم 8 – 11، ب).

في مثل هذه الحالة إذا لم يتواجد المصهر الموجود بالرسم (الشكل رقم 8 – 11، أ) سيتعرض المحرك لذات العيوب السابق الحديث عنها بالنسبة للكابلات المتوازية. كما أنه من الضروري التركيز هنا علي أن المحركات لا يتم توصيلها علي التوازي لأنه محرك وحيد، ولكن التوازي هنا للمفاتيح (القواطع) حيث أن كل مشترك يحتاج إلي تشغيل هذه المضخة عند الحاجة إليها.

في حالة تشغيل مفتاحين رئيسيين علي التوازي فيكون لدينا حالتين:

1- مفتاح واحد موصلا One Switch Closed

في هذه الحالة تعتبر الدائرة صحيحة ولا غبار علي تشغيلها لأنها مطابقة للمواصفات القياسية وطرق التشغيل والحماية مقننة ونمطية، وهذا ينطبق علي أي من القاطعين (الأول أو الثاني). وهذه الحالة تعتبر مثالية إذا ما كانت هي الموجودة فعلا.

2- المفتاحين موصلين Double Switch Closed

تعتبر هذه الحالة من الحالات الخطرة والتي تحتاج إلي تقويم حيث يعمل القاطعين معا علي التوازي وحيث أن مقاومتهما متساوية فيتم توزيع التيارات بين القاطعين بالنسبة العكسية للمقاومات، أي تكون التيارات متساوية بينهما. في مثل هذا الوضع نجد أن تيار القصر أو مقنن القاطع يختلف عن ذلك النمطي للدائرة لأن كل مفتاح منهما يحمي الحمل الكامل بينما هو يعمل علي نصف القيمة كما سبق التنويه بالنسبة للكابلات. هذا التشغيل خطأ ويلزم تعديله كما سوف نشرحه لاحقا.

محرك
جهاز تحكم
قاطع رئيسى
قاطع ثان
بدون مصهر

أ) دائرة المحرك بدون مصهر (القاطع مزود بحماية زيادة التيار)

محرك
جهاز تحكم
قاطع رئيسى
قاطع ثان
مصهر لتيار القصر

ب) دائرة المحرك بمصهر

الشكل رقم 8- 11: تشغيل التوازي للقاطع في دائرة محرك كهربي وحيد

2- وقاية تجاوز الحمل Over Load Protection

هذا الوضع قد يتفاقم عند التعامل مثلا مع مضخة مياه في عمارة سكنية إذا ما تم توصيل مفتاح علي التوازي لكل مستهلك منهم وبالتالي تقل قيمة التيار المار في المفتاح بالنسبة العكسية لعدد القواطع الموصلة علي التوازي، وذلك طبقا لقانون كيرشوف للدوائر الكهربية، وهنا تكمن الخطورة. موضع هذه الخطورة ينحصر في محورين كما سبق البيان بالنسبة للكابلات وهما محور زيادة التيار (القصر) ومحور تجاوز الحمل (الشكل رقم 8 – 10) حيث تتزايد القيمة جدا بضعف عدد القواطع وتكون القواطع بلا فعالية في بعض الأحيان.

يتكرر وضع تجاوز الحمل الخطأ وإنهيار الوقاية Protection Failure الأصلية نتيجة لتوزيع الحمل المقنن الكامل Full Load علي مفتاحين أو أكثر وبالتالي نبتعد تماما عن نقطة الأداء الرئيسية علي أي من هذه المفاتيح الكهربية ولذلك يجب أن يوضع مفتاح وحيد رئيسي علي التوالي مع المفتاح الذي تضاعف علي التوالي كما هو مبين في الشكل رقم 8 – 12. هكذا يكون المفتاح الرئيسي هو العامل بخاصية تجاوز الحمل كوقاية أما بقية المفاتيح فهي في الدائرة الكهربية مثل السكاكين الكهربية Disconnecting switches.

يتم السيطرة علي هذه الأوضاع بالأسلوب الهندسي والمحدد لدائرة محرك كهربي وحيد متكاملة عديدة القواطع كما جاءت في الشكل رقم 8- 12والذي يتضح منه أن القواطع المتعددة لا تستخدم كقواطع كهربية بل تستخدم مثل السكاكين الكهربية عند كل مشترك ولكن الإعتماد

الأساسي علي القاطع الرئيسي والذي يتم توصيله علي التوالي مع جميع المفاتيح الخاصة بالمشتركين. من الجهة الثانية يقوم المصهر في الدائرة كما في الشكل رقم 8 – 11 (ب) بنفس العمل ويقوم بنفس الخصائص.
أما بالنسبة للوقاية من تجاوز الحمل فلا يمكن للمصهر أن يقوم بهذا العمل بل سوف يحتاج إضافة إلي ذلك المصهر مفتاح رئيسي أيضا يتم توصيله علي التوالي ولهذا نجد ان الوضع الأمثل في هذه الحالات يظهر في الدائرة المحددة بالشكل رقم 8 – 12.

3-8: مكونات الدوائر الكهربية الفرعية
The Components of Electric Branch Circuits

من أهم الدوائر الكهربية الفرعية المتواجدة علي الساحة التطبيقية تأتي الدوائر الكهربية للمحركات Motor Branch Circuits ووسائل التحكم Control والوقاية Protection بها، خصوصا وأنه سبق شرح منظومة الوقاية الخاصة بها. من ثم يجب أن نتطرق إلي وسائل التشغيل الخاصة بدوائر الوقاية، ولذا نحن هنا نأخذ الوسائل القياسية للتشغيل والتي تتمثل في البادئ Starter - وهو عبارة عن مجموعة نبائط قفل وتتكون غالبا من وقاية تجاوز الحمل - كما أن هذه الوسائل تساعد علي:

محرك
جهاز تحكم
قواطع عديدة
قاطع رئيسي

الشكل رقم 8- 12:
دائرة محرك كهربي وحيد متكاملة عديدة القواطع

1- بدء حركة المحرك Starter
2- تعجيل Acceleration تحريك المحرك كي يصل إلي السرعة المقننة بسرعة بالغة أي في أقصر وقت ممكن.
3- ضمان التشغيل الدائم للمحرك Continuous Operation
4- قطع تيار التغذية إذا لزم الأمر Automatic Tripping

أولا: أدوات بالدوائر الكهربية Circuit Tools

الدوائر الكهربية تعمل من خلال بعضا من الأدوات والأجزاء الرئيسية يأتي أهمها في كل من الدوائر الكهربية بالشبكات ذات الجهد العالي أو المنخفض مثل المفاتيح والسكاكين الكهربية، بينما تظهر أهمية أخري في الدوائر الكهربية الفرعية بجانب المفاتيح مثل البرايز والأسلاك وغيرها ومن ثم كان هاما أن نتعرض لهذه المكونات بشكل موجز من حيث النظرة الوقائية كما نسطرها في ما هو تال.

1- المفاتيح الكهربية Circuit Breakers

تعتبر المفاتيح الكهربية من اهم المكونات الكهربية فى الشبكات داخل الابنية حيث انها تقوم بالفصل التلقائى عند احساس الخطا فى الشبكة علاوة على انها تحمى الاجهزة الكهربية سواء هذه التى تخص شركة الكهرباء او تلك التى يمتلكها المستهلك ولذلك فانها من اول المهمات التى نعتمد عليها فى الشبكة الكهربية للتوزيع وبالتالي في الدوائر الكهربية الفرعية.
فى الماضى كان يعتمد النظام الوقائى للشبكات عموما عند الجهود المتوسطة والمنخفضة فى الابنية على استخدام اسلوب آخر غير هذا وهو ما يعرف باسم (السكاكين الكهربية) ولكن هذه السكاكين لا تصلح للفصل التلقائى بل كان النظام يعتمد على تركيب مصهرات على اطراف هذه السكاكين وبالتالي عند حدوث القصر يتم انصهار المصهر وتنفتح الدائرة الكهربية ويتم الفصل التلقائى ايضا.
كما ان هذه السكاكين الكهربية لم تنقرض تماما من الساحة التطبيقية في مجال التركيبات الكهربية، بل متواجدة باستمرار بالرغم من ظهور النظم الاحدث والتى نعرفها بالمفاتيح الكهربية. وبالرغم من ان السكاكين الكهربية تعتبر طرازا قديما الا ان العاملين فى حقل الكهرباء من القدامى يفضلون استخدامها لانهم يرون فيها الميزة الهامة الأكبر فى ضرورة الفصل الكهربى لها قبل مغادرة المكان وتكون هذه من اهم نقاط الامن.
تعتبر التكلفة الاقتصادية عند الشراء من اهم مميزات السكاكين الكهربية حيث ينخفض سعرها عن تلك المثيلية من المفاتيح الكهربية الحديثة والمتداولة فى الاسواق بكثرة ولكن هذه الميزة الاقتصادية لا تعطى السكاكين الكهربية المزايا كلها فان التطوير مطلوب وامان الاشخاص يوضع على اول الدرجات الأمنية وحماية للبشرية فضلا على امان المعدات ايضا.
فى جميع الاحوال فان التعامل مع كليهما سواء المفاتيح او السكاكين يخضع للمواصفات والتعليمات الصادرة فى شانهما من جانب الامان لأنهما يمثلان المكان الأهم داخل الدائرة الكهربية والذى يحمى باقى الاجزاء وتقع علية المسئولية المباشرة فى التخلص من الاخطاء التشغيلية. لذلك يكون من الضرورى الاهتمام بالتعامل مع المكونات الكهربائية وخصوصا مع تلك الاجزاء الحيوية مثل المفاتيح الاوتوماتيكية والسكاكين الكهربية حيث يجب العمل على:

أ) التاكد من سلامة المفاتيح والسكاكين.
ب) التاكد من سلامة عزل المنطقة عن كلا من اللعب واللهو وبعيدا تماما عن عبث الاطفال.

الجدول رقم 8 – 4: بيان موجز عن المقارنة بين المفاتيح الكهربية والسكاكين الخاصة بالتركيبات الكهربية داخل الابنية

الموضوع	السكاكين الكهربية	المفاتيح الكهربية
نظام التشغيل	يدوى	آلى / يدوى
تحريك اطراف التوصيل	يدوى	آليا
امكانية قطع الشرارة	لايمكن عموما	ممكن
الخطورة على الافراد	خطر	امان
الحجم المكاني	كبير	صغير
الاحتياج لغطاء	يحتاج بالضرورة	يحتاج للمنظر العام
اماكن التركيب	اماكن بعيدة	فى اى مكان
اضافة المصهرات	اساسى	لا يحتاج
الحجم ذاتة	كبير	صغير
الوزن	ثقيل	خفيف

يقدم الجدول رقم 8 - 4 بيانا بالفروق الجوهرية بين الإعتماد علي كلا من القواطع والسكاكين الكهربية من أجل المقارنة بين المفاتيح الكهربية والسكاكين الخاصة بالشبكات الكهربية داخل الابنية الضخمة والصغيرة بالاضافة الى الاستخدامات الصناعية والتجارية وغيرهم.

2- البرايز والفيشات Sockets & Plugs

تستعمل البرايز والفيشات Plugs في الدوائر الكهربية الفرعية من أجل الوصل الكهربي للأحمال الكهربية المختلفة مثل المصابيح بكافة تطبيقاتها والمعدات بكل أنماطها وكذلك الاجهزة الكهربائية المنزلية القابلة للنقل بالينبوع اتصالا مؤقتا مع مصدر التغذية الرئيسي. لهذا نجد أن هذه الأدوات هي أكثر إنتشارا في الدوائر الكهربية الفرعية المنزلية وهي مصنعة - دائما وبالضرورة - بقيم قياسية للتيار شدتة المقننة هي 2 او 5 او 10 او 15 او 20 او 25 او 30 امبير علي الجهد 220 ف (240 ف).

ينصح عادة بعدم قطع (فصل) الدائرة الكهربية الفرعية عن طريق شد الفيشة (جذبها) من البريزة Sockets للتيارات التى تزيد عن 5 امبير، لأن ذلك يتسبب في ظهور شرارة كهربية قد تصل إلي حد الخطورة مما قد يصل بنا إلي صهر النحاس الموصل. علي الجانب الآخر يجب دائما قطع الدائرة فى هذه الحالات بواسطة مفتاح (قاطع)، حيث أنه لضمان ذلك يتم تركيب مفتاح على البريزة ذاتها بحيث لا يمكن توصيل او فصل الفيشة الا مع وجود المفتاح في الدائرة كقاطعا كهربيا للدائرة.

كما تطورت تقنية تصنيع الفيشة حديثا بحيث يكون الموصل خارجا من البريزة من الجانب حتي يصعب شدها من الموصل، مما شد الفيشة نفسها فلا تحدث شرارة تتناولها الايدى. كما يوجد فى هذه الأنواع حلقة حاجزة متسعة تمنع تأثيرات الشرارة الكهربية اذا ما حدثت وتصنع الفيشة من عازل متين ولا يستعمل الصينى لأنه عرضة للكسر.

يفضل أن تكون البريزة من الصيني او البكاليت لأنهما أجود العازلات الفعلية في هذا الصدد كما يمكن أن تغطى بخشب متين ويجب ملاحظة ألا تكون الاطراف المعدنية للموصلات عرضة للتلامس مع الأفراد المستخدمين لها بل يجب أن تكون مختبئة تماما تحت سطح العازل وذلك طبقا للمواصفات القياسية الدولية.

تستعمل البرايز والفيشات وحيدة الطور ذات ثلاثة اطراف (الطور وموصل التعادل وموصل التأريض)، كما يجب أن تكون الابعاد بينها غير متساوية حتى لايمكن توصيلها الا بطريقة واحدة فقط حيث الطرفان بالدائرة الفرعية يتصلان بنظيريهما بينما الموصل الثالث يتماشي بأبعاده الهندسية مع خط الارض وهو السلك المتصل بالاجزاء المعدنية بالجهاز (المعدة) الكهربى المستعمل وبذلك نضمن الوقاية اذ ان تلك الاجزاء عرضة دائما للتلامس ـ فلو حدث قصر بداخل جهاز ما فان جهدها قد يرتفع لدرجة خطرة وبعض البلدان كما سبق الشرح في البند السابق تحتم توصيل تلك الاجزاء للاجهزة بالارض عندما تعمل علي مقتن جهد يزيد عن 100 فولت .

في كثير من الأحيان يحتاج المستهلك الى توصيل اكثرمن جهاز الى بريزة واحدة وذلك عن طريق الإستعانة ببعض الوصلات (الموصلات) الخاصة (التي تعرف وتسمي باسم المشترك)، وفى هذه الحالة يجب مراعاة الا يزيد مجموع التيارات العاملة في وقت واحد لهذه الاجهزة عن تيار البريزة ولو انة يستحسن استعمال بريزة لكل جهاز حيث يكون المقتن ثابتا وتلافيا لمبدأ النسيان البشري.

ثانيا: وسائل البدء للمحركات Concepts of Starting

أهم ما يمكن التعامل معه بحرص في تشغيل المحركات هو كيفية بدء الحركة وذلك بسبب الحاجة الكبيرة لوجود العزم الشديد الذي يساعد علي تحريك الكتلة الساكنة وهو من سمات تشغيل المحركات الكهربية، إضافة إلي ذلك نجد أن هذه الوسائل العديدة للبدء تزيد وتتزايد كل فترة ومنها الأنواع التالية:

النوع الأول: البادئ المباشر Direct On Line Starter

يتم فيه توصيل الجهد كاملا علي أطراف المحرك عن طريق البادئ مرة واحدة، وهو مناسب للمحركات ذات عزم عالي للبدء. يلائم هذا البادئ المحركات الصغيرة وهي ما تقل عن 10 حصان، حيث يمكن تلافي زيادة التيار أو إنخفاض الجهد أثناء البدء. يمكن تشغيل ذلك البادئ لإدارة المحرك في إتجاه واحد، أو إتجاهين وفي بعض الحالات الأخري كما سيتم بيانه في بعض من الأنواع التالية. كما أن الجدول رقم 8 – 5 يدرج المواصفات القياسية لبادئات الحركة المباشرة للمحركات ثلاثية الطور جهد 400 ف وذلك علي التيار *D.O.L.* تبعا لنوع التوافق رقم 2.

1- البادئ العاكس Revering Starter

يتم التوصيل المباشر أيضا مع هذا البادئ مع إمكانية عكس إتجاه الدوران وهو مناسب للمحركات ذات القفص السنجابي، بينما يحتاج المحرك بالعضو الدوار الملفوف إلي زيادة عدد حلقات الإنزلاق مما يزيد من تكلفة هذا البادئ في هذه الحالة بجانب التعقيد الهندسي المرافق لهذا.

2- بادئ المحرك متعدد السرعات Multi Speed Starter

يتم التوصيل المباشر أيضا كما يلزم تغيير عدد أقطاب المحرك لتغيير السرعات وهذا سهل مع محركات القفص السنجابي مثل ذلك العاكس، أما بالنسبة للعضو الدوار الملفوف يتبع نفس النظام الخاص بالبادئ العاكس فنيا وتكلفة. كما انه جدير بالذكر أن المواصفات القياسية الخاصة بالقاطع الآلي (بمحرك) والذي يعمل علي أساس الفصل الحراري والمغناطيسي وذلك للمحركات ثلاثية الطور جهد 400 ف قد أدرجت في الجدول رقم 8 – 6 حيث تم توضيح مقننات مدي الضبط لكلتا الحالتين أي الفصل الحراري والفصل المغناطيسي.

الجدول رقم 8 – 5: بادئات حركة مباشرة علي التيار بنوع التوافق رقم 2 (محركات ثلاثية الطور جهد 400 ف)

مجموعة بدء		ثنائي	مجموعة بدء		ثنائي	ثلاثي
المقنن ك.و. *Motor rating*	مدي الضبط أ Setting	تيار قصر ك. أ. Iq	المقنن ك.و. *Motor rating*	مدي الضبط أ Setting	تيار قصر ك. أ. Iq	
0.37	1.6 – 1	130	15	40 – 25	35	70
0.55	2.5 – 1.6	130	18.5	40 – 25	35	70
0.75	2.5 – 1.6	130	22	63 - 40	35	70
1.1	4 – 2.5	130	30	63 - 40	35	70
1.5	4 – 2.5	130	37	80 – 56	35	70
2.2	6.3 – 4	130	45	100 – 60	35	70
3	10 - 6	130	55	100 – 60	35	70
4	10 - 6	130	75	150- 90	35	70
5.5	14 - 9	130	90	220 – 132	35	70
7.5	18 – 13	50	110	220 – 132	35	70
9	23 – 17	50	132	250	45	70
11	25 - 20	50				

3- البادئ ذو الإتجاهين Double Direction Starter

هنا أيضا يتم التوصيل المباشر علي كامل الجهد وهو يعمل إتجاهين للحركة من خلال عكس إتجاه تتابع الأطوار لملفات العضو الثابت.

النوع الثاني: البادئ بجهد مخفض Reduced Voltage Starter

نحتاج بالضرورة إلي التحريك الأسهل لجزء المحرك الدوار ومن ثم تتباين الإستيراتيجيات الهادفة لتحريك الجزء الدوار من وضع السكون ولهذا يستخدم في هذا النوع المبدأ الأساسي وهو تقليل تيارات البدء حيث يتم زيادة الجهد تدريجيا، وفيه يتناسب كلا من العزم والتيار مع مربع نسبة خفض جهد المحرك. لذلك يكون مناسبا للحد من تيارات الإندفاع (البدء) مع قلة العزم، وهو ينحصر في نوعين:

الجدول رقم 8 – 6: مقتنات القاطع الآلي (بمحرك) للفصل الحراري والمغناطيسي (لمحركات ثلاثية الطور جهد 400 ف)

المقتن ك.و.	مدي الضبط أ	المقتن ك.و.	مدي الضبط أ	
	فصل حراري		فصل حراري	فصل مغناطيسي
0.06 ≥	0.16 – 0.1	7.5	23 – 17	
0.06	0.25 – 0.16	9	23 – 17	
0.09	0.4 – 0.25	11	25 – 20	
0.012	0.63 – 0.4	15	32 - 24	40
0.25	1 – 0.63	18.5		40
0.37	1.6 – 1	22		65
0.75	2.5 – 1.6	25	100 – 25	65
1.1	6.3 – 4	30		
2.2	10 – 6	35	220 - 90	
3	14 – 9	37		80
5.5	18 – 13	70	220 - 25	

تظهر الأهمية لتحديد نوعية الفصل مع القواطع علي جهد التشغيل حيث أنها إما أن تعمل بالفصل الحراري أو بالفصل المغناطيسي وهو ما يهم دوائر الوقاية من حيث سبل تشغيل المحركات والتحكم في دوائرها الفرعية.

1- البادئ نجمة / دلتا Star / Delta Starter

إنه يبدا بتوصيلة النجمة والتي تتحول إلي الدلتا بعد ذلك وهي التوصيلة الدائمة أثناء التشغيل. وهذا النظام لا يسمح بعكس إتجاه الدوران. كما أن الجدول رقم 8 – 7 يعرض بعضا من مقتنات بادئات الحركة وذلك للمحركات الكهربية ثلاثية الطور علي الجهد 400 ف مع إستخدام البادئات بنظام نجمة / دلتا مع إستخدام ملامسات عكسية جهد 400 ف ثلاثية الطور.

الجدول رقم 8 – 7: مقتنات بادئات الحركة من الطراز نجمة / دلتا مع ملامسات عكسية جهد 400 ف ثلاثية الطور

مقتن		مقتن تيار أ	مقتن		مقتن تيار أ
حصان	ك. و		حصان	ك. و	
5.5	4	9	30	22	50
7.5	5.5	12	40	30	65
10	7.5	18	50	37	80
15	11	25	60	45	95
20	15	32	75	55	115
25	18.5	40 -38	100	75	150

2- البادئ بمحول ذاتي ذو خطوتين Double step Auto Transformer Starter

علي الطريق الآخر نجد أن من الضروري تغيير الجهد مرحليا عند بدء تحريك العضو الدوار في المحرك ومن ثم نجد أنه في هذا النوع يستخدم المحول الذاتي من أجل خفض جهد التغذية في البداية بينما يتم الوصول إلي جهد التغذية الكامل علي خطوتين. ولا يصلح هذا البادئ للإيقاف السريع أو للتشغيل المتذبذب.

النوع الثالث: بادئ بمقاومة متغيرة بدائرة الدوار Rheostat Rotor Starter

يستعمل هذا النوع مع المحركات التأثيرية من النوع الملفات الملفوف، حيث تدخل مقاومة كاملة مع ملفات العضو الدوار أثناء البدء فقط ثم يتم عزلها خارج الدائرة تماما. كما يلزم ألا يتجاوز الجهد على حلقات الإنزلاق عن ضعف جهد عزل نبائط الفصل والتوصيل العاملة بالدائرة الكهربية، ولذلك يتكون هذا البادئ من أربعة أجزاء هي:

الجدول رقم 8 – 8: خصائص مرحلات تجاوز الحمل ذات زمن التأخير عند تغذية كل أقطابها

النظام ثلاثي الطور	نوع المتمم	ضبط التيار للأوجه الثلاثة				حرارة المحيط م°
		A	B	C	D	
متماثل	مغناطيسي أو حراري غير معادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط	1	1.2	1.5	7.2	40+
	الحراري المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط	1.05	1.2	1.5	7.2	20+
غير متماثل	الحراري المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط، ولا يتأثر بسقوط أحد الأطوار	1	1.32			20+
		1	1.32			
		1	1			
	الحراري غير المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط، ولا يتأثر بسقوط أحد الأطوار	1	1.25			40+
		1	1.25			
		1	00			
	الحراري المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط، ويتأثر بسقوط أحد الأطوار	1	1.15			20+
		1	1.15			
		0.9	00			

1- نبيطة للفتح والقفل الميكانيكي لتغذية ملفات العضو الثابت
2- مقاومة ثلاثية الطور
3- نبائط ميكانيكية للفتح والغلق
4- وقاية تجاوز الحمل

النوع الرابع: البادئ بوقاية آلية Protected Starter

هو عبارة عن البادئ ومعه نبائط الفتح والغلق مع الوقاية ضد القصر وضد تجاوز الحمل. هكذا يتبع نظام الوقاية الخاص بالقاطع وكذلك بالبادئ مع الدوائر الكهربية الفرعية للمحركات ونورد في الجدول رقم 8 – 8 بعضا من خصائص المتممات الوقائية للعمل بوقاية تجاوز الحمل مع التأخير الزمن التمييزي وذلك عند تغذية كل الأقطاب.

إن جميع القراءات الواردة في هذا الجدول تتبع المواصفات القياسية الدولية كما أنها قد ضمنت داخل المواصفات القياسية المصرية (الكود المصري). كما أنه على نفس السياق يأتي الجدول رقم 8 – 9 بمقننات الفصل الزمني نتيجة غمز الوقاية الآلية بتجاوز الحمل في الحالتين الحرارية والمغناطيسية وذلك تبعا للتيار D الوارد في الجدول رقم 8 – 8.

الجدول رقم 8 – 9: زمن الفصل للمتممات لتجاوز الحمل (الحرارية والمغناطيسية)

مصنف الفصل	زمن الفصل (ث) تبعا لتيارللتيار D	مصنف الفصل	زمن الفصل (ث) تبعا لتيارللتيار D
10A	10 > t ≥2	20	20 > t ≥6
10	10 > t ≥4	30	30 > t ≥9

النوع الخامس: البادئ المختلط Combination Starter

هو عادة بادئ من النوع المغلف تماما ويكون بداخله المكونات نبيطة فتح وغلق الدائرة وهي التي يجب أن تعمل يدويا من خارج الغلاف. علاوة علي ذلك يلزم إضافة وقاية ضد تيار القصر ويمكن أن يكون مفتاحا بمصهر أو قاطع آلي.

النوع السادس: البادئ ذو الخطوة أو خطوتين أو متعدد الخطوات 1, 2, or n- Step Starter

يوجد حالتي التعجيل وعدمه ففي الخطوة الواحدة لا يتواجد وضع التعجيل بينما في الخطوتين (بادئ نجمة / دلتا) يتم التعجيل مرة واحدة، أما المتعدد فيكون ذلك علي مجموعات مرحلية للتحكم في عدد السرعات المطلوبة.
يمكن وضع أصناف البدء أيضا بشكل مختلف من حيث نوعية القوة اللازمة لأداء نقاط التلامس الرئيسية في الملامس كم هو آت:

1- البادئ اليدوي **Manual Starter**

2- البادئ ذو التشغيل بالهواء المضغوط **Pneumatic Starter**

3- البادئ ذو التشغيل بالهواء المضغوط والكهربي **Electro-Pneumatic Starter**

4- البادئ الكهرومغناطيسي **Electro mechanical Starter**

ثالثا: خصائص البدء Starting Characteristics

نظرا لتنوع المواصفات الفنية وأختلافها من تطبيق لاخر تم عمل بحث عن بعض المواصفات العالمية مثل **IEC standard** لبادئات الحركة والقواطع الكهربية ذات الجهد المنخفض شاملة أنواع مختلفة بمعدلات قدرة مختلفة. كما يعتبر المحرك التأثيري ذو القفص السنجابي من أكثر معدات القوى الكهربية احتياجا إلى تنظيم أدائها . إضافة ألى أن هذه المحركات هي الأكثر شيوعا في الاستخدام لتوفير الطاقة المحركة الصناعة المختلفة.

هكذا نجد أن خصائص البدء لتشغيل المحركات الكهربية علي وجه العموم تتأثر بوضوح بالأسلوب الخاص بالبدء ومن ثم ندرج أسس البدء لتشغيل محركات القفص السنجابي تعتمد علي أسس علمية نوجزها في سياق البنود التالية:

البند الأول: وظائف البادئات Starter Duty

عادة ما يتم التحكم في هذة المحركات عن طريق بادئات الحركة (المقومات) وعلى المختص أن يأخذ في الاعتبار نقاط أساسية تفي بالتحكم و الحماية التامة للموتور و العاملين على تشغيلة و صيانتة، وقد عرفت المواصفات القياسية العالمية **IEC 947** تلك الوظائف الأولية والتي يجب أن تحققها بادئات الحركة للمحركات الكهربية (**MOTOR STARTERS**) وهي التي تنحصر في أسس جوهرية هي:

1- العزل عن التغذية ومصدرها **Supply Isolation**

2- الوقاية الآلية للمحرك **Automatic Protection for a Motor**

3- فصل وتوصيل المحرك داخل الشبكة الكهربية

Motor Switching in a Network

4- التأكد وضمان التوافق التام بين العناصر الثلاث السابقة

Checking a Synchronism for the Three above Items

البند الثاني: مجموعات البادئ Starters Groups

تتم عملية البدء للمحركات الكهربية عموما علي مستويات متعددة وبسعات مختلفة ومتباينة قد تصل بالقدرة الكهربية حتى 30 كيلووات عند جهد التوزيع (أي الإستهلاك العادي) والمساوي لجهد 415/400 فولت للتيار المتردد وبذبذبة مقننة إما 50 أو 60 هيرتز، وتدخل هذه العملية من خلال مجموعات ثلاث هي:

1- البدء اليدوي المفرد Single Manual

يتكون البدئ اليدوي من عناصر الفصل من قاطع وملامس وحماية تجاوز الحمل

2- البدء المزدوج Type 2 coordination

يشمل البدء الآلي المزدوج من خلال إضافة وقاية آلية لما سبق في الأسلوب اليدوي وهو الحماية ضد القصر

3- البدء الثلاثي Triple Starting

في هذا انظام الآلي يكون النظام مكونا من القاطع والملامس وتجاوز الحمل الحراري والمغناطيسي بجانب الوقاية ضد تيار القصر، في هذه الحالة تكون بادئات حركة المحرك الالية مجهزة بوقاية من زيادة الحمل عن طريق ريلاي حراري ضد زيادة الحمل over load بالاضافة الى كونتاكتور و قاطع تيار للحماية ضد تيار القصر فقط.

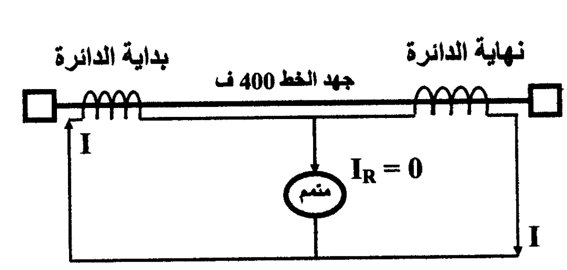
البند الثالث: بعض مقننات أساليب البدء Starting Concepts

تخضع البادئات الخاصة بالمحركات للمواصفات القياسية الدولية كما أنها مسجلة أيضا بالكود المصري مما يتيح الفرصة للمتخصص كي يحصل علي المعلومة بسهولة ليس عند أعمال التصميم وحسب بل وأثناء أعمال التنفيذ الموقعية أيضا.

8– 4: الوقاية التفاضلية للدوائر الفرعية
Differential Protection of Branch Circuits

نتطرق الآن إلي الوقاية التفاضلية بمعني المقارنة وهي المعروفة باسم ميرز – بريز (Merz - Price) نسبة إلي العالمين الذين أسسا هذا المبدأ في التوازن بين طرفي الدائرة الواحدة. يتم ذلك عن طريق موصلات المقارنة والتي تتواجد في الدائرة الثانوية، ومن ثم نضع هذه التقنية من خلال الطرق المتبعة عمليا في هذا المجال.

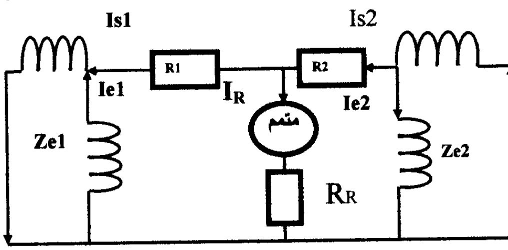
هناك أسلوبان للعملية التفاضلية وهي من الأسس وقد سبق التعرض لها من قبل ولكننا الآن ندخل بأسلوب مغاير عن السابق من حيث أننا نضع هذه المفاضلة الوقائية بصنفين من الدوائر وهما:



الشكل رقم 8- 13 : الدائرة التفاضلية بنظام التيار الدائر

الطريقة الأولي: التيار الدائر Circulating Current

هذه الطريقة هي المعروفة والسابق ورودها (الشكل رقم 8- 12) حيث أنها تخضع لنظرية كيرشوف للتيار الدائر داخل الحلقة الواحدة. هذا يعني أن التيار المار بالمحول عند بداية الخط يدور في الحلقة الخاصة بالدائرة الثانوية وعندما يصل إلي الفرع الذي يحتوي علي المتمم يتفرع بين الأثنين، ولكن في ذات الوقت يأتي التيار من محول التيار الموجود عند نهاية الخط ليتفرع هو الآخر. لكننا بهذا الوضع نجد أن كلا من التيارين متساويين ويمران في نفس الإتجاه أي أن التيار القادم من محول التيار يستمر في حركته في الحلقة ليكون هو ذاته المار في المحول الآخر. هذا يؤدي إلي أن التيار المار في المتمم سوف يساوي الصفر، ولهذا السبب نجد أنه إذا ما كان هناك قصر في الدائرة الأصلية ينتج فارقا بين التيارين المارين في محولي التيار وهو ما سوف يمر في فرع المتمم فيعمل علي فصل الدائرة الأصلية بالأمر التلقائي.



الشكل رقم 8- 14: الدائرة المكافئة لحالة التيار الدائر

من الواضح أن الدائرة الكهربية المكافئة للدائرة الثانوية الوقائية والتي جاءت في الشكل رقم 8 – 13 تأتي في الشكل رقم 8 – 14 .

من هذه الدائرة نحصل علي العلاقة بين التيارات المارة في الدائرة علي النحو:

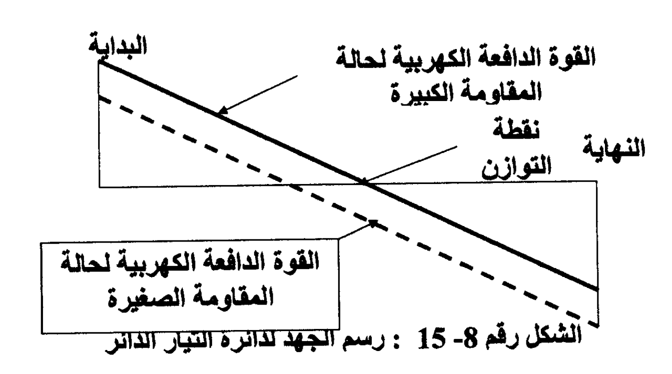
$$I_R = I_1 - I_2 = (I_1 - I_{e1}) - (I_2 - I_{e2}) \qquad (8-2)$$

عندما يكون محولي التيار متماثلان يكون ذلك ممثلا بالمعادلة الرياضية :

$$I_1 = I_2$$

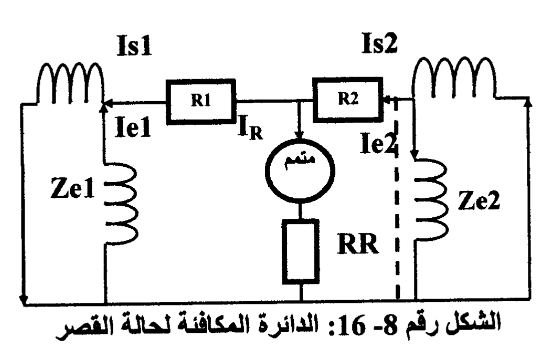
ومن ثم نحصل علي اتيار المار في المرحل بالقيمة:

$$I_R = I_{e2} - I_{e1} \qquad (8-3)$$



الشكل رقم 8- 15 : رسم الجهد لدائرة التيار الدائر

يظهر مع الدائرة المكافئة في الحالة الموضحة عاليه للدائرة المكافئة في الشكل رقم 8 - 15 البيان التوضيحي لقيمة القوة الدافعة (المحركة) الكهربية Electro Motive Force في حالتين للمتمم وهما المتمم ذو المقاومة العالية High Resistanceاو المتمم ذو المقاومة الصغيرة Low Resistance حيث أن المقاومة العالية تعمل علي الفتح الفعلي للفرع الموجود به المتمم فيمنع مرور التيار في المتمم ولهذا نجده مساويا للصفر أو قرب الصفر بينما في حالة المقاومة الصغيرة يمر تيارا بفرع المتمم لأن المقاومة صغيرة ولذلك يكون واجبا ضبط قيمة تشغيل المتمم علي القيمة التي تتواكب مع تغيير الحالة.



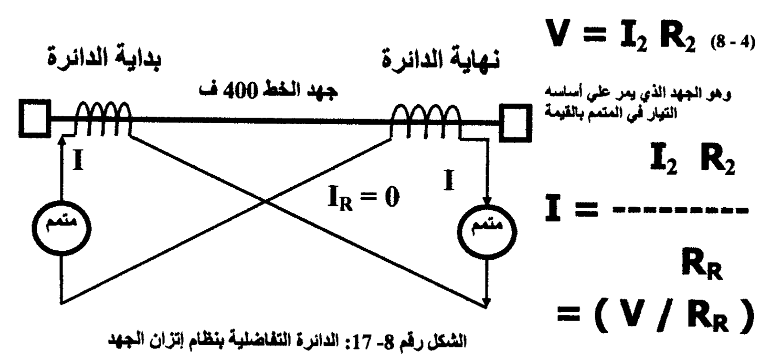
الشكل رقم 8- 16: الدائرة المكافئة لحالة القصر

في الحالات الفجائية Transients وتحت ظروفها نجد أنه يظهر قصرا كهربيا Short Circuit لحالة التشبع في قلب المحول أو التشغيل عند منطقة التشبع Saturation نتيجة إرتفاع قيمة التيار ومن ثم يحدث قصرا في الدائرة الكهربية مكافئا لهذا القصر مما يجعل الدائرة المكافئة غير مستقرة الوصع (وهي الدائروة الواردة في الشكل رقم 8 – 16)، وهو الأمر الذي يجعل الجهد بطريقة ثفينين Thevenin بالقيمة

$$V = I_2 R_2 \quad (8-4)$$

وهو الجهد الذي يمر علي أساسه التيار في المتمم بالقيمة

$$I = \frac{I_2 R_2}{R_R} = (V / R_R) \quad (8-5)$$



الشكل رقم 8- 17: الدائرة التفاضلية بنظام إتزان الجهد

وهو ما يعني أنه إذا ما كانت مقاومة المتمم صغيرة نسبة إلي للفرع الثاني من الملفات والمقاومات سيظهر الترحل في الفرق بين نقطتي التوازن وهو المعروف بأسم (Spill) وهو ما سبق شرحه من قبل.

الطريقة الثانية: إتزان الجهد Voltage Balance

في هذه الطريقة نتعامل مع ذات الطرفين السابقين ومن خلال محولات التيار أيضا ولكن نعتمد علي المقارنة بين جهدي الناحيتين والذين لا بد وأن يكونا متماثلين تماما في الوضع العادي للتشغيل (أي بدون قصر في الدائرة الأصلية)، هذه الحالة ممثلة بالدائرة الثانوية المبينة في الشكل رقم 8 – 17.

أما عن الدائرة المكافئة لها فهي تلك الواردة في الشكل رقم 8 – 18، وهي متشابهة تماما مع تلك السابقة والتي تتبع نفس إطار الأداء ولكن بأسلوب توازن الجهد

الشكل رقم 8- 18 : الدائرة المكافئة التفاضلية (المقارنة) بأسلوب التوازن الجهدي

إمتحانات وتمارين Examinations & Problems

يختص هذا الفصل من الكتيب بحصر شامل للأنواع المختلفة من المسائل والتمارين الرياضية كاملا، التي تتعلق بموضع الكتاب وباللغتين العربية والإنجليزية بما قد يضع موضوع الوقاية بشكل متصل المعني، وذلك بدلا من وصع بندا في كل فصل حيث يمتد التمرين ليكون شاملا أكثر منه متخصصا.

9-1: تمارين Problems

التمارين المدرجة في هذا البند تاتي علي مستويين فالأول يختص بتمارين ومسائل عن كل فصل علي حدة, حيث أن أغلب التمارين قد تاتي باللغة العربية ثم تتكرر باللغة الإنجليزية.

أولا: أسئلة عامة عن الفصول Questions

I- أسئلة الفصل الأول

1- ما هي النظم العملية لتوزيع المناطق علي الشبكات الموحدة؟
2- انكر أسلوب واحد للنظم المتبعة في توزيع مراكز الأحمال وتكلم عنه بالتفصيل.
3- ما هي العيوب التي من الممكن أن تلحق بنظم توزيع مراكز الأحمال؟
4- قارن بين توزيع مناطق الوقاية وبين توزيع مراكز الأحمال عيوبا ومميزات.
5- حدد أهمية تواجد مراكز الأحمال عند الربط الكهربي العربي.
6- بين السبب الذي يوجب أن تربط الشبكات القومية من خلال الربط متعدد النقاط.
7- انكر عددا من المزايا للربط بين الدول علي المستوي الدولي.
8- لماذا نحتاج للوقاية في الشبكات الكهربية؟
9- فسر أهمية الوقاية في شبكات التوزيع.
10- لماذا يلزم تواجد وقاية مع الأجهزة الكهربية والمنزلية؟
11- قارن بين نظم الوقاية المختلفة.
13- اشرح بالتفصيل الدوائر المتتالية في شبكات الوقاية العاملة في شبكة كهربية موحدة.
14- ضع رؤية مستقبلية لشكل النظم الكهربية عالميا

II- أسئلة الفصل الثاني

2.1- In an isolated star 220 kV network, an individual 200 VA, 220000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 5 VA in order to detect the residual voltage. Try to calculate the residual voltage at unbalance of phases.

2.2- In a delta 66 kV network, an individual 150 VA, 220000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 2 VA in order to detect the residual voltage. Try to calculate the residual voltage at unbalance of phases.

2.3- In an earthed star 440 kV network, an individual 200 VA, 440000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 7 VA in order to detect the residual voltage. If the neutral point is connected through a 5 Ω resistive impedance, find the residual voltage at unbalance of phases.

2.4- For a solidly earthed star 11 kV network, a 3 phase 50 VA, 11000 / 110 turns ratio VT unit is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 2 VA in order to detect the residual voltage. If the phase voltages are 11, angle 0 , 10 angle 100 and 7 with 200, deduce the required setting for this limit condition of unbalance.

2.5- A 66000 / 110 V, 150 VA VT is installed at the 66 kV side for the burden of 10 VA where the nominal output of VT is 110 V. The secondary impedance is 0.5 + j 1.2 k Ω and the magnetic branches are 0.2 and j 17 M Ω, referring to the secondary side, obtain:

(a) The rated primary current
(b) The suitable HRC fuse on primary side
(c) The rated secondary current
(d) The errors in the limits of operation of the equivalent circuit
(e) If the resistive part of burden is neglected, calculate the error and give the vector diagram
(f) If the burden is only resistive, calculate the error and give the vector diagram

2.6- A CT (300 / 5 A) is installed on the primary circuit of 11 kV with rated current of 300 A. The magnetizing equivalent is assumed to be resistive 140 Ω with a burden of 10 VA resistive, too.
It is required to evaluate:
(a) The equivalent primary impedance
(b) The impedance value of the burden in Ω
(c) The error in the actuating current
2.7- A (200 / 1 A) CT is installed on the primary circuit of 66 kV with rated current of 200 A. The magnetizing equivalent is assumed to be 130 and j 50 Ω with a burden of 15 VA resistive.
It is required to evaluate:
(a) The equivalent primary impedance
(b) The impedance value of the burden in Ω
(c) The error in the actuating current
2.8- A 500 / 5 A CT is connected in the primary circuit of 220 kV at a rated nominal primary current of 500 A where the burden on secondary circuit of CT winding is 10 VA. The secondary impedance may be approximated as 02 + j 0.2 Ω. The magnetizing branches may be considered as j 50 and 150 Ω, then find:
(a) The primary impedance
(b) The limits of secondary impedance
(c) The limits of burden current
(d) The maximum and minimum errors in the current
2.9- Discuss the type of errors in the value of current as well as the displacement effect in the CT and compare this condition with the case of voltage in the VT. Give your view for the subject as a whole.
2.10- For a 50 Hz, 11kV, distribution system, a 100/5 A CT is installed and the secondary current of peak value is 50 A with a time constant of 0.12 s. Find the transient term of exciting current.
2.11- A 500/ 5 A CT has been installed per each phase in a 50 Hz power system at 220 kV. if the system inductance is 3 mH and the resistance of the system is 5 Ω, deduce the transient primary current when a fault is occurred at 300 moment.
2.12- Compare between types of CT in networks either for measurement or for protection purposes .
2.13- Give only the differences between CT and VT in power systems for protection purpose
2.14- Compare between the use of fuses in both circuits for either CT or VT and prove mathematically (if possible) the governing formula for each of them.
2.15- Explain in details the types of error in the measuring instruments CT and VT and formulate this error. Also, indicate the reasons for such error. Put a solution for each error if possible.

III- أسئلة الفصل الثالث

3-1 Explain in details the fundamental items of discrimination for the protective circuits in a power system
3-2 Write about the time discrimination concept for a network
3-3 Explain the meaning of dead zone in protection circuits with drawings
3-4 Find the difference between a good discriminative protective scheme and the bad one
3-5 Indicate the human protection in power networks
3-6 Characterize the safety rules for operation in stations
3-7 Discuss the principle of earthing the neutral point in power systems
3-8 Write about the Peterson coil and solid earthing. Comment on both cases.
3-9 With drawings explain the following items:
electromechanical relays - static relays - basic rules of relays - protective gear - over current concept - earth fault - symmetrical faults in power systems - unsymmetrical faults in a system
3-10 Find the relation between the circuit breaking capacity and the faulty conditions
(a) How the earthing point affect the rupture capacity of a C B .

(b) Write a report about one only of the following items: The history of protection group - The history of Electricity group

3-11 Find the danger for earthing in the distribution system

3-12 Define:

a) the dead zone in power networks

b) the time grading protection

c) the bonding resistance

d) the directional type of protection

3-13 Discuss the types of electro-dynamic relays.

3-14 Compare between the electro-dynamic and static relays.

3-15 Report about the maintenance of relays.

IV- أسئلة الفصل الرابع

4.1- Compare between electro-dynamic and static relays

4. 2- Indicate the limits of applications for static relays in the protection of networks

4.3- Give a principle circuit for instantaneous tripping.

4.4- Draw a circuit for over current protection with definite time tripping.

4.5- Draw a circuit for over current protection with a changeable time tripping

4.6- Compare between detectors in logic circuits.

4.7- Explain with drawings the effect of stop in the transfer function for a detector.

4.8- Indicate the differences between integrators and level detectors.

4.9- Indicate the basic differences between integrators and polarity detectors.

4.10- Explain in short items the discrete logic requirements in protective schemes.

4.11- How to measure the tested value with the high (X/R) in a circuit with drawings?

4.12- Determine the operating point effect in static relays.

4.13- Which is the most positive point for the selection between hardware or software design relative to the protection applications?

4.14- Draw relative sequence with digital principle for the output in a protective scheme.

4.15- Use the logic base to find out the wave output.

4.16- Explain the process of logic counting with comparison based protected relay.

4.17- Design a general circuit for under voltage protection with microprocessors.

4.18- Why did thyristores advance a more accurate concept? Prove with circuits.

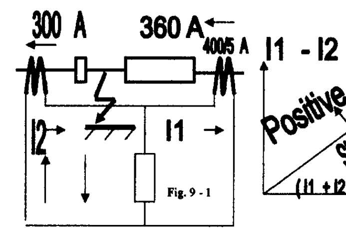
4.19- Which is the vital test between all?

4.20- Deduce the HF circuit for testing the static relays.

4.21- Why can we use the simulation technique with static relays?

V- أسئلة الفصل الخامس

5. 1- A 50 MVA, 35 kV alternator is being protected by the use of current balance system using 2000 / 5 A CTs. The neutral of the alternator is earthed through a resistance of 7.5 Ω. If the minimum operating current for the relay is 0.5 A determined, find the percentage of the winding of each phase is out of protection against earth when operating at normal voltage.



5.2- A 6.6 kV, 3 ϕ alternator has a maximum continuous rating of 2 MW at 0,8 p. f. and its reactance is 12.5 %. It is equipped with Merz Price circulating current protection which is set to operate at fault currents not less than 200 A. Find what value of the neutral earthing resistance neglects only 10 % of the

winding out of protection.

5.3- A star 3 ϕ 20 MVA 11 kV stator winding of alternator is protected by balance current method with current transformers of 1200 / 5 A and minimum operating current of 0.75 A and neutral resistance of 6 Ω. Calculate the percentage of protected winding when it is working at nominal voltage. Find also, the protected portion of the winding in the following cases:

(a) R =3, 12 Ω and for current 0.75 A - Comment on results.

(b) for relay operating currents of 0.5, 1.0 at R = 6 Ω – give comments on the results.

5. 4- A percentage differential protection is applied to the stator windings of an alternator as given in the figure 9-1. The relay has a 0,15 A minimum pick up and a 12 % slope. A high resistance ground fault (as indicated in the figure) is occurred near the neutral point while the generator is loaded as shown on the figure. Assuming that the ratio of used CTs is 400 / 5 A without any inaccuracies under the faulty condition, Find the condition of operation for the protective device in such case.

5. 5- The winding of a 3 ϕ20 MVA 11 kV star generator is protected on the basis of balance system in the secondary circuit with a CT of 1200 / 5 A ratio. The relay minimum operating current is 0.75 A as well as the earthing resistance is 6 Ω. Calculate the percentage of each phase of the stator winding which remains without protection for the faults to earth when the operation is steady state under the normal voltage.

5. 6- A 3 ϕ20 MVA 11 kV star connected alternator has a synchronous reactance of 2.5 Ω / phase and a resistance of 0.75 Ω / phase. It is protected through differential type balance, so, find the unprotected portion of the winding if the neutral point is earthed through a resistance of 0.5 Ω. Assuming that the relay operates when the out of balance current exceeds 25 % of the full load current.

5. 7- Draw a complete scheme for the protection of generator stator winding on the basis of Merz Price

5. 8- An alternator stator winding is protected by a differential relay which has 0.15 A as a minimum pick up value with a slope of 15 % (this slope for a vertical axis of current difference and a horizontal axis of their some). A high resistance fault to ground is occurred inside the turns of the winding to earth. The distribution of the currents in the power circuit is given as 340 A at the phase side but its value is changed to 360 at the other side of the winding and the current transformers have the transformation ratio of 500 / 5 A. Will the relay trip the generator circuit breaker on the phase side under this condition.

5. 9- An 11 kV alternator has the balance circulating current for the protection of its windings where the neutral point of stator windings is earthed through a 5 Ω resistance and the setting of operation for relay has been adjusted at 1.5 A in the pilot wire in the secondary circuit. The current transformers of 100 / 5 A ratio were installed. Evaluate the percentage of the protected winding portion and compare the results to the 90 % protected part of the winding – Comment on your results.

5. 10- A 50 MVA 3 ϕ33 kV alternator is protected on the basis of Merz Price with 2000/5 A CTs. The neutral resistance was 10 Ω with a relay minimum operating current of 0.5 A. Determine the ratio of stator winding which must be safe against earth fault conditions at a normal voltage operation.

5. 11- An over current protection should be installed at point 1 of the network shown (Fig. 9-2) with heavy currents through earth. Show which connection is more sensitive for short circuit to earth at point 2 for different values of load currents on the protected line. The short circuit currents are tabulated in the following Table 9-1. Coefficient of reliability is K_r = 1.2 and the reset value is 0.85.

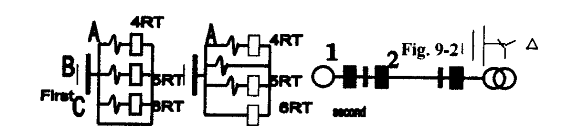
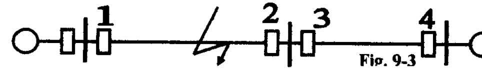


Table 9-1: Sequence currents for various loads when fault is occurred

Case	Faulty Point	Load variant (a) kA	Load variant (b) kA	Load variant (c) kA
Line load	-	0.420	0.160	0.420
Single phase Short circuit	At point (1) At point (2)	1 1.7	3.8 1.2	0.8 0.63
Double phase to earth s. c.	At point (1)	$I_1 = 10$ $I_2 = 3$ $I_o = 7$	$I_1 = 8.4$ $I_2 = 5.2$ $I_o = 3.2$	$I_1 = 1.7$ $I_2 = 1$ $I_o = 0.7$
Double phase to earth s. c.	At point (2)	$I_1 = 3.8$ $I_2 = 2.3$ $I_o = 1.5$	$I_1 = 2.3$ $I_2 = 1$ $I_o = 1.3$	$I_1 = 1.17$ $I_2 = 0.3$ $I_o = 0.85$
Distribution of current (Io %)	At point (1) At source side	98	90	50
Distribution of current (Io %)	At point (2)At transformer side	15	70	87

5. 12- A differential protection type relying has been selected for protection against line to line fault and it is connected at 90° according to the torque equation:

$$T = K\ V_r\ I_r\ \cos\ \phi_r$$



If a short circuit is occurred (Fig. 9-3) at a point F between phases A & B, check the validity of the above equation as a good tool for protection. Positive and negative sequence impedance of the line are the same at points 1, 2, 3 and 4 while the currents of the load can be neglected.

5. 13- Check the possibility of installing the automatic relay A-3000 type for line protection, if the maximum operating current I_{max} = 200 A. The minimum current at short circuit in boundary of the protected line is 1.1 kA and the line should be opened in time less than 0.1 s. The characteristics of the used relay type A-3000 is illustrated in the given drawing.

5. 14- Design a complete scheme for the protection of a 3 ϕ generator unit.

5. 15- A power station having installed capacity of 100 MVA with the following data:

4 alternators, 33 kV, 20 MVA each,
3 generators, 11 kV, 20 MVA each,
3 generators, 11 kV, 10 MVA each.

Design the suitable single line diagram and then, draw the complete 3 wire diagram for the protective scheme. Indicate the protective relaying in blocks for simplicity. in the secondary circuit.

5. 16- A 3 ϕ solidly earthed 4 wire alternator is operating at no load under the nominal voltage of 11 kV. Its positive, negative and zero sequence impedance are j3, j2 & j1 Ω, respectively. Calculate the currents in all wires and voltage of un-faulted phase to neutral when a double line to earth is occurred at the alternator terminals.

5. 17- A balanced 3 ϕ solidly earthed supply is connected to a 3 ϕ, 4 wire line. Find the currents in each phase, if the line is short circuited to another line at the receiving end (line to line type fault) when the third phase is earthed at the same terminal.

VI- أسئلة الفصل السادس

Assume Any Required Data

6. 1- Design a single protective system for a generator 3 ϕ, 33 kV, star connected with earthed neutral through 10 Ω resistance. Find the percentage protected winding in such case.

6. 2- Diesel Engine generator unit is provided the power of 1 MW to feed a unit system, in which the short circuit level is 13 kA. Its ratings are 3 ϕ, star connected, solidly earthed neutral. Determine all protective circuits for such a network. Illustrate the tripping circuits in details, Use the 3 wire diagram.

6. 3- Draw a complete protective system for the protection of 220/66/11 kV, 125 / 121 / 30 MVA, star earthed / star earthed / delta connection Power transformer. Give details in 3 wire diagram.

6. 4- For a 3 ϕ, 11 / 66 kV, 70 MVA generating unit (alternator with transformer) all types of protective circuits are needed. Give the protective system on 3 wire diagram. Calculate as possible the settings for the used relays.

6. 5- It is known that the angle (α) takes only a definite standard value as 45°, 60°, and 75° as well as the angle 45° is used with distribution systems only, 60° for transmission lines 66-220 kV but 75° for EHV & UHV lines. Comment for reasons.

6. 6- Put the protective system installed on a 450 km, 500 kV, overhead transmission line.

6. 7- Give reasons for the possibility or not to protect the following:

(a) 2 parallel cables

(b) 2parallel overhead lines

(c) single circuit overhead line in parallel with a 3 core cable 60 km 66 kV

(d) Three identical 3core cable 66 kV

6. 8- Draw the protective circuits for the possible installed cases in the above problem.

6. 9- Draw a complete circuit for the earth leakage protection for the bus bar zone if it is 4 zones double bus bar type.

VII- أسئلة الفصل السابع

7- 1- اشرح بالتفصيل المبادئ الأساسية للتمييز في دوائر الوقاية الخاصة بالشبكات الكهربية.

7- 2- أكتب عن أسلوب التمييز لوقاية الشبكات الكهربية

7- 3- أشرح مع الرسم معني المناطق الميتة في دوائر الوقاية

7- 4- أوجد الفرق بين التمييز الجيد والسيئ في شبكات الوقاية الخاصة بالشبكات الكهربية

7- 5- بين الفرق بين أنواع الوقاية المسافية وارسم خصائص التشغيل لكل حالة

7- 6- عرف الفرق بين الوقاية ضد زيادة التيار وبين الوقاية ضد تجاوز الحمل

7- 7- بين ماهية الوقاية البشرية في تشغيل الشبكات الكهربية

7- 8- المطلوب تحديد فلسفة قواعد الأمن للعمل داخل محطات الكهرباء

7- 9- أوجد نسبة الحساسية للوقاية التفاضلية علي ملف كهربي

7- 10- ناقش مع التحليل أسس تأريض نقطة التعادل في نظم القوي الكهربية

7- 11- أكتب عن ملف باترسون

7- 12- اشرح مع الرسم ما يلي: المتممات الساكنة – أسس عمل المرحلات – معني شبكة الوقاية – أسلوب زيادة التيار – الخطأ الكهربي مع الأرض – الأخطاء المتماثلة في الشبكات الكهربية - الأخطاء غير المتماثلة في الشبكات الكهربية .

7- 13- بين العلاقة بين سعة القطع للقواطع وحالات الخطأ الكهربي في الشبكة المتواجدين بها

7- 14- كيف يؤثر تأريض نقطة التعادل علي سعة القطع للقواطع

7- 15- تكلم عن الخطورة من التأريض في شبكات التوزيع

7- 16- ناقش مع التحليل مستعينا بالرسم مسألة التمييز في وقاية شبكات التوزيع الكهربي في المصانع ثم وضح الفرق بين هذا التمييز والتمييز في منظومة الوقاية لشبكات التوزيع الكهربي في الأبنية المختلفة، ثم حدد الفرق بين وقاية زيادة التيار وتجاوز الحمل خصوصا لدوائر المحركات الكهربية.

7- 17- ما هو الأفضل استخدام المصهر fuse أم المفاتيح المنمنمة أو الأنواع الكبيرة (حسب الأحوال) CB للحماية الآلية وذلك في الحالات التالية:

أ) في الشبكات المنزلية
ب) في شبكات التوزيع
ت) في نظم القوي الكهربية
ث) للمولدات الصغيرة
ج) لمولدات التيار المستمر
د) للمولدات الديزل
هـ) لمحولات القياس
و) لمحولات القدرة جهد 11 kV

7- 18- متي نحتاج إلي التمييز الاتجاهي directional discrimination للقدرة أو التيار في الشبكات الكهربية ولماذا
7- 19- أين تستخدم الوقاية الاتجاهية في نظم القوي الكهربية
7- 20- أين نحتاج إلي ازدواج التمييز بين كلا من التمييز الاتجاهي directional protection والتمييز الزمني time discrimination
7- 21- لماذا نحتاج إلي التمييز الزمني في الشبكات الكهربية القومية
7- 22- لماذا نستخدم أسلوب التدرج (التمييز المرحلي) للوقاية في الشبكات الكهربية
7- 23- ما هو الأهم لدوائر الوقاية: الاختيارية selectivity أم الحساسية sensitivity
7- 24- لماذا نحمي المولدات والمحولات
7- 25- لماذا نستخدم الوقاية للقضبان الكهربية
7- 26- لماذا يجب حماية الخطوط الهوائية لنقل الطاقة الكهربية والكابلات أيضا
7- 27- لماذا نحمي قاطع الربط بين القضبان
7- 28- أعطي الأسباب لاستخدام الوقاية الاتجاهية directional protection في الشبكات القومية

ثانيا: أسئلة وتمارين متنوعة باللغة العربية

الورقة الأولي (أجهزة القياس) Sheet 1

1- تم تركيب محول تيار 5/300 *A* في دائرة *11 kV* لها مقنن تيار قدره *300 A* وكانت البردن بقدرة *10 VA* علي الدائرة الثانوية لمحول التيار. معوقة الملفات الثانوية لمحول التيار هي $0.2 + j\,0.2\ \Omega$ وفرعي التأثير المغناطيسي هما $j\,50$ *and* $150\ \Omega$ أوجد:

أ) معوقة الملف الابتدائي
ب) حدود معوقة الملف الثانوي
ج) حدود تيار البردن
د) أقصى وأدني خطأ في تيار الثانوي

2- تم تركيب دائرة وقاية بواسطة محول تيار 500 / 5 A وبه الخطأ % 2 وذلك لوقاية خط نقل ثلاثي الطور جهد 110 kV بواسطة القاطع الخاص به. ملامس القاطع مفرد الطور يقفل تماما في مدة 1 ms ويفتح الدائرة خلال 4 ms . الوقت الأقصى المسموح به لفتح القاطع ثلاثي الطور هو 8 ms بينما عملية الفصل تستغرق عادة 30 ms مع خطأ قدره % 3 . إذا أخذ في الاعتبار أن overshoot لهذا المتمم هي 1 ms، أوجد:

أ) الضبط الزمني للمرحل نتيجة التغير في معاملات الشبكة الكهربية
ب) الضبط الزمني للمتمم نتيجة أخطا تشغيل ذات المتمم
ج) الضبط الزمني الصحيح
د) الضبط الزمني الفعال لدائرة الوقاية المعنية

3- دائرة وقاية تفاضلية تعمل من خلال محولي تيار 100 / 1 A وكانت خصائص العلاقة بين الجهد والتيار لهما خطية تماما بينما كان الأول يعمل بمعدل ارتفاع قدره Ω 2 والثاني بمعدل Ω 3 ونقطة تشغيل المرحل هي 10 V والمطلوب حساب الآتي:

أ) التيار المار في المرحل بصفة مستمرة
ب) التغير في تيار البردن إذا زاد الجهد بنسبة % 20 من المقنن
ج) معدل التغير في التيار مقابل التغير في الجهد المذكور

4- في شبكة كهربية *220 kV* بتوصيلة النجمة المعزولة تم تركيب محول جهد *200 VA* له نسبة عدد لفات *220000 / 110* وذلك علي كل طور. وكانت معوقة الملف الثانوي تساوي $0.5 + j\,1.2\ k\Omega$ وفرعي المغناطيسية $0.3\ \Omega$ و $j\,17\ M\Omega$ لهذا المحول مع اعتبار أن قدرة البردن هي *5 VA* وذلك من اجل التأكد من قيمة الجهد المتبقي . المطلوب محاولة حساب قيمة الجهد المتبقي مع المنظومة غير المتماثلة.

5- في شبكة كهربية جهد *66 kV* تم الاستعانة بمحولات جهد مفردة الطور بقدرة *150 VA* لكل واحد وعدد اللفات بنسبة */ 220000 110*، وكانت معوقة الملف الثانوي تساوي $0.5 + j\,1.5\ k\Omega$ وفرعي المغناطيسية 0.2Ω و $j\,14\ M\Omega$ مع اعتبار أن البردن ستكون بقدرة *2 VA* كي تبحث عن الجهد المتبقي. حاول حساب قيمة الجهد المتبقي عند عدم اتزان الأوجه.

6- في شبكة كهربية $440\ kV$ بنظام النجمة المؤرضة تم تركيب محول جهد علي كل وجه بقدرة $200\ VA$ وبنسبة عدد لفات $440000/110$ إذا كانت معوقة الملف الثانوي تساوي $0.7 + j\ 1.4\ k\ \Omega$ وفرعي المغناطيسية $0.4\ \Omega$ و $j\ 15\ M\ \Omega$ واستخدم بردن $7\ VA$ للحصول علي الجهد المتبقي.

إذا كانت نقطة التعادل مؤرضة من خلال مقاومة نقية تماما $5\ \Omega$، المطلوب إيجاد الجهد المتبقي لحالة عدم اتزان الجهد علي الأطوار.

7- لمنظومة توزيع كهربية $11\ kV$ بنظام النجمة المؤرضة مباشرة، تم تركيب محول جهد ثلاثي الطور بقدرة $50\ VA$ ونسبة عدد لفات $11000/110$. معوقة الملف الثانوي تساوي $0.6 + j\ 1.2\ k\ \Omega$ وفرعي المغناطيسية 0.2Ω و $j\ 19\ M\ \Omega$ حيث كانت البردن $2\ VA$ ومن ثم أوجد الضبط اللازم لحالات زوايا عدم اتزان الجهد بقيم (الجدول رقم 9-2):

أوجد الضبط الصحيح لحدود هذه الجهود

8) تم تركيب محول جهد بقدرة $150\ VA$ ونسبة تحويل $66000/110\ V$ وذلك علي جهة الجهد الأعلي $66\ kV$ حيث يغذي بردن $10\ VA$ وكانت معوقة الملف الثانوي تساوي $0.5 + j\ 1.2\ k\ \Omega$ بينما يتم حساب فرعي المغناطيسية 0.2Ω و $j\ 17\ M\ \Omega$ بالنسبة إلي ناحية الثانوي.

الجدول رقم 9- 2 : قيمة وزاوية الضبط المطلوبة

الطور	الجهد	الزاوية
الأول	11	0^o
الثاني	10	100^o
الثالث	7	200^o

المطلوب إيجاد:

أ) مقنن التيار الابتدائي

ب) المصهر HRC المناسب مقنن التيار الابتدائي

ج) مقنن التيار الثانوي

د) الخطأ في حدود التشغيل من الدائرة المكافئة

هـ) الخطأ إذا ما أهمل الجزء المقاومي النقي R

و) الرسم المتجهي إذا ما أهمل الجزء المقاومي النقي R

ي) الخطأ إذا ما كانت البردن مقاومة نقية R فقط مع الرسم المتجهي

9) وضع محول تيار $(300/5\ A)$ علي الدائرة الابتدائية لجهد $11\ kV$ له مقنن تيار $300\ A$. إذا تم اعتبار أن التأثير المغناطيسي يتمثل فقط في مقاومة نقية بقيمة $140\ \Omega$ وكانت البردن بمقنن $10\ VA$ كمقاومة نقية أيضا فالمطلوب هو تقدير ما يلي:

أ) المعوقة المكافئة للملف الابتدائي

ب) معوقة البردن بوحدات الأوم Ω

ج) الخطأ مع التيار الموجود بالدائرة

10) تم تركيب محول تيار (200 / 1 A) علي الجهد 66 kV بمقنن تيار 200 A حيث كانت معوقة التأثير المغناطيسي المكافئة بفرعيها هي 130 Ω و 50 Ω j والبردن مقنن 15 VA كمقاومة نقية. المطلوب تقدير الآتي:

أ) المعوقة المكافئة لدائرة محول التيار

ب) معوقة البردن بوحدات الأوم Ω

ج) قيمة الخطأ في التيار الفعال

11) ناقش مع الرسم أنواع الخطأ في قيمة التيار وفي زاويته التي تظهر في محولات التيار وقارنها مع تلك الحادثة في محولات الجهد. المطلوب التعقيب علي ما تراه في هذا الصدد.

12) تم استخدام محول تيار بمقنن $100/5\ A$ مع شبكة توزيع كهربي مقننها $11kV$, $50\ Hz$ وكانت القيمة الذروة للتيار هي $50\ A$ بثابت زمني قدره $0.12\ s$ ومطلوب إيجاد الجزء العابر من التيار الموجود.

13) تم الاستعانة بمحول تيار $500/5\ A$ علي كل طور من شبكة جهد عالي $220\ kV$ بذبذبة $50\ Hz$، حيث كانت ممانعة المنظومة الكهربية هي $3\ mH$ ومقاومة المنظومة هي $5\ \Omega$. المطلوب إيجاد التيار العابر بالدائرة الابتدائية عندما يحدث القصر في اللحظة 30^o .

14) قارن بين محولات التيار المستخدمة لدوائر الوقاية وتلك المستخدمة لأغراض القياس الكهربي بالمحطات الكهربية. يمكن جدولة المقارنة في شكل مبسط ويفضل الاستعانة بالرسم ما أمكن.

15) المطلوب بإيجاز شديد وفي نقاط مبسطة الفروق ما بين محولات التيار CT ومحولات الجهد VT المستخدمة لأغراض الوقاية في نظم القوي الكهربية.

16) قارن بين استخدامات المصهرات في دوائر الوقاية لكل من محولات التيار CT ومحولات الجهد VT. المطلوب أيضا إذا ما كان ممكنا الإثبات الرياضي والذي يؤسس عليه هذا الاستخدام.

17) اشرح بالتفصيل أنواع الخطأ الحادثة في محولات القياس للتيار CT وللجهد VT وضع الصيغة الرياضية لتقدير هذا الخطأ . بين أيضا أسباب ظهور هذا الخطأ وضع حلا لكل خطأ منهم.

18) تم توصيل محول تيار بمقنن *500 / 5 A* علي دائرة جهد عالي *220 kV* لها مقنن تيار قدره *500 A* وكانت قدرة البردن عبارة عن *10 VA* المعوقة المكافئة للملفات الثانوية الخاصة بمحول التيار كانت بالتقريب بالقيمة *0.2 + j 0.2 Ω* ، وقد تم اعتبار قيمتي التأثير المغناطيسي لمحول التيار بالقيمتين *j 50Ω* و *150 Ω* ، ومن ثم المطلوب حساب:
أ) المعوقة المكافئة للملف الابتدائي
ب) حدود معوقة البردن بوحدات الأوم *Ω*
ج) أقصى وأدني خطأ في قيمة التيار الموجود بالدائرة

الورقة الثانية (المتممات) Sheet 2

1- اشرح بالرسم الخصائص المختلفة لأنواع الكاشفات المستخدمة في الدوائر التكاملية الخاصة بالوقاية الآلية ثم أعطي مثالا يجمع أنواع الكاشفات كلها وهي تعمل معا في دائرة وقاية.
2- حاول وضع صيغة تقريبية لحساسية المتمم المحدد للمسافة
3- عرف العلاقة بين المنطقة الميتة ونوعية المتمم اللازم لحمايتها
4- بين خصائص المتمم المستخدم في نظام التدرج في الوقاية الزمنية
5- بين خصائص المتمم الرقمي وبين الفارق بينه وبين الكهروديناميكي
6- حدد نوعيات الدوائر الإلكترونية المتكاملة والتي تعمل كمتممات
7- ضع قواعد للعمل مع كاشف المستوي وحاول وضع صيغة رياضية تعبر عن أدائه الفعلي
8- استنتج رياضيا خصائص الكاشف التكاملي
9- عرف مقاومة الاتزان في الدوائر الثانوية مع المتممات الاستاتيكية
10- حدد نوعية عمل المتمم لتحقيق الحماية الإتجاهية في شبكات الكهرباء
11- أرسم دائرة فصل كاملة للمتمم الرئيسي Master relay الملحق بالقاطع الهوائي وللقاطع المتخلخل ولماذا نحتاج إلي المتمم الرئيسي
12- حدد أنواع التمييز في وقاية الشبكات القومية
13- لماذا ظهرت المتممات الساكنة
14- عرف الضبط الزمني للمتمم وكذلك ضبط القيمة الفعالة لتشغيل المتمم
15- اشرح التمييز المرحلي في دوائر الوقاية
16- أشرح مبادئ الفصل الفوري مع أنواع المتممات المختلفة المستخدمة في دوائر الوقاية

الورقة الثالثة (وقاية المولدات) Sheet

1- في المولد الكهربي (20 MVA - 11 kV) ثلاثي الطور بتوصيلة النجمة تمت حماية ملفات العضو الثابت بطريقة توازن التيار بواسطة محولات تيار 1200 / 5 A وكان أقل تيار عامل هو 0.75 A ومقاومة التأريض للمولد كانت 6 Ω .
أ) أحسب النسبة المئوية من ملفات العضو الثابت التي تقع تحت الحماية الفعلية بهذا الأسلوب إذا ما كان الجهد هو المقنن.
ب) أوجد أيضا الجز المحمي من هذه الملفات في الحالات الآتية:
i) إذا كانت المقاومة تأخذ القيمتين R = 3 & 12 Ω عند قيمة التيار 0.75 A
ii) إذا كان التيار العامل هو 1.0 , 0.5 A مع المقاومة. R = 6 Ω
ج) مطلوب التعقيب علي النتائج
2- تمت حماية ملفات العضو الثابت لمولد 80 MVA 66 kV بـ 3 بطريقة ميرز برايز من خلال محولات تيار 12000 / 5 A وبقيمة تشغيل دنيا عبارة عن 0.75 A عندما كانت مقاومة التأريض لنقطة التعادل تساوي 9 Ω . أحسب النسبة المئوية من الملفات والتي تكون محمية فعلا إذا ما كان الجهد المقنن هو المحدد وقت التشغيل. أوجد أيضا الجز المحمي من الملفات في الحالات التالية:
أ) عند قيمة التيار 0.75 A والمقاومة من نقطة التعادل هي R = 3 & 12 Ω .
ب) إذا كانت نقطة عمل المرحل هي 1.0 أو 0.5 A مع مقاومة تأريض R = 6 Ω
ج) مطلوب التعقيب علي النتائج
3- تمت حماية مولد كهربي 50 MVA , 35 kV عن طريق اتزان التيار بالاستعانة بمحولات تيار بمقنن 2000 / 5 A. تم تأريض نقطة التعادل الخاصة بالمولد من خلال مقاومة 7.5 Ω.
إذا كانت أقل قيمة لتشغيل المتمم هي 0.5 A أوجد النسبة المئوية من ملفات هذا المحول علي كل طور التي تقع خارج الحماية وتصبح في خطر عندما يكون العمل تحت الجهد المقنن.
4- مولد توربيني ثلاثي الطور جهد 6.6 kV له مقنن 2 MW , 0.8 p. f. وذلك لأكبر قدرة مستمرة للتحميل وله ممانعة قدرها 12.5 % وقع تحت الحماية بطريقة Merz Price (توازن التيار) مع تيار دوراني بالوقاية والذي تم ضبطه كي يعمل عند حدوث الخطأ أو القصر بقيمة لا تقل عن 200 A. المطلوب إيجاد قيمة مقاومة التأريض للمولد بحيث تقع نسبة 10 % فقط خارج منطقة الحماية الخاصة بالملفات.

5- تم تصميم دائرة وقاية لملفات العضو الثابت لمولد ثلاثي الطور بتوصيلة النجمة بقدرة 40 MVA وعند الجهد 11 kV باستخدام الطريقة التفاضلية بالاستعانة بمحولات تيار 1200 / 5 A وكان تيار التشغيل الأدنى للمتمم هو 1.00 A بينما كانت مقاومة تأريض نقطة التعادل الخاصة بالمولد هي Ω 12. المطلوب:

أ) حساب النسبة المئوية من الملفات والتي تقع تحت الحماية

ب) حساب النسبة المئوية من الملفات والتي تقع تحت الحماية في الحالات التالية:

i) إذا كان التيار الفعال للمتمم بقيمة 0.75 A مع حالتي المقاومة التأريضية لنقطة التعادل الخاصة بالمولد تساوي R = 3 , 18 Ω

ii) إذا كان تيار تشغيل المتمم هو 1.5 , A 0.5 مع مقاومة تأريض المولد Ω R = 10

ج) مطلوب التعقيب علي النتائج

6- استخدمت الوقاية التفاضلية لحماية ملفات العضو الثابت لمولد كهربي وكان المتمم له ضبط قيمة اللقط الأدنى minimum pick up بقيمة 0.15 A وكان الميل هو % 12. خطأ قصر أرضي قد حدث بقيمة مقاومة عالية بالقرب من نقطة التعادل بينما كان المولد محملا (الشكل رقم 9-1). أفرض أن نسبة محولات التيار كانت 400 / 5 A بدون أية أخطاء تحت ظروف القصر وأوجد ظروف العمل الفعال لدائرة الوقاية في هذه الحالة.

7- كانت معاملات مولد ثلاثي الطور 20 MVA موصل بتوصيلة النجمة بجهد 11 kV هي الممانعة التزامنية synchronous reactance بقيمة 2.5 Ω / phase وقيمة مقاومته 0.75 Ω/phase حيث تمت عليه الحماية للملفات من خلال الطريقة التفاضلية. أوجد الجز غير المحمي من ملفات المولد إذا ما تم تأريض نقطة التعادل بمقاومة قيمتها Ω 0.5 مع اعتبار أن المتمم يعمل عندما يخرج اتزان التيار عن قيمة الضبط وهي % 25 من الحمل الكامل للمولد.

8- ارسم رسما كاملا لمنظومة الوقاية الخاصة بمولد ثلاثي ملفاته متصلة بتوصيلة النجمة المؤرضة من خلال مقاومة مع الشرح لتوصيلات المتمم الرئيسي Master Relay كما بين بالرسم وضع دائرة المجال Field للمولد داخل هذه المنظومة

9- تم وضع حماية تفاضلية differential علي ملفات العضو الثابت stator winding لمولد كهربي alternator حيث كان تيار اللقط الأدنى minimum pick up value هو 0.15 A . كانت خصائص المتمم تتبع نظام ميل الخط بقيمة % 15 مقاسا علي محورين الأفقي يمثل مجموع تياري التفاضل أما المحور الرأسي يعبر عن الفرق بينهم (بنفس الشكل العام للمسألة رقم 6). حدث قصر مع الأرض من خلال مقاومة عالية داخل الملفات الخاصة بالمولد. توزيع التيارات في شبكة الجهد العالي كانت 340 A علي جانب و 360 علي الجانب الآخر بينما كان مقنن محولات التيار المستخدمة هو 500 / 5 A ، والمطلوب هو تحديد ما إذا كان المتمم سوف يعمل مع هذه الظروف أم لا.

10- الحماية التفاضلية لمولد 11 kV مؤرض من خلال مقاومة Ω 5 حيث وضع الضبط setting لتشغيل المتمم عند القيمة 1.5 A داخل دائرة الوقاية الثانوية. كان مقنن محولات التيار هو 5 / 100. المطلوب حساب النسبة المئوية المحمية من ملفات المولد ثم مقارنتها مع حالة حماية 90 % من الملفات. مطلوب أيضا التعقيب.

11- تمت حماية مولد 50 MVA ثلاثي الطور بجهد 33 kV بطريقة ميرز برايز Merz Price بالاستعانة بمحولات تيار بمقنن 2000 / 5 A ، كانت مقاومة تأريض المولد هي Ω 10 وكانت القيمة الأدنى للتيار الفعال relay minimum operating current هي 0.5 A. المطلوب تحديد النسبة المئوية من ملفات العضو الساكن للمولد التي ستكون آمنة ضد القصر مع الأرض عند تشغيل الجهد المقنن.

12- مطلوب رسم كهربي كامل لمنظومة وقاية متكاملة لمولد كهربي كبير مزدوج الملفات بكل طور ثلاثي الطور بتوصيلة نجمة مؤرضة مع توضيح توصيلات المتمم الرئيسي Master Relay واعتبار أن المفاتيح الكهربية في الدائرة من نوع الهواء المندفع تحت ضغط عالي مع توضيح دائرة الفصل كاملة. يمكن اختصار دوائر الوقاية في شكل صندوقي.

13- لدينا محطة توليد كهرباء بقدرة إجمالية *installed capacity* قدرها 100 MVA وتتكون من الأجزاء الرئيسية الآتية:

أ) عدد 4 مولدات 20 MVA , 33 kV لكل منها

ب) عدد 3 مولدات 10 MVA, 11 kV لكل منها

ج) عدد 4 مولدات 20 MVA علي جهد 11 kV لكل منها

المطلوب تصميم الرسم الخطي لهذه المحطة ومن ثم إسقاط نوعيات الحماية المطلوبة في شكل صندوقي.

14- ارسم المتمم الرئيسي ودائرته كاملة لقاطع كهربي من نوعية الهوا المندفع Air Blast محددا بها أطراف التوصيل وموضحا بها ملفات الفصل والتوصيل اليدوي التلقائي.

15- تم توصيل منبع جهد متماثل ثلاثي الطور متصل بالأرض مباشرة علي أربعة خطوط نقل ثلاثية الطور بنظام أربعة أسلاك. أحسب التيارات في كل طور إذا ما حدث قصر بين طورين عند نهاية الخط بينما الطور الثالث حدث عليه قصر مع الأرض في نفس اللحظة.

16- مولد كهربي ثلاثي الطور مؤرض مباشرة (بدون مقاومة) رباعي الأسلاك يعمل بدون حمل عند الجهد المقنن 11 kV مقاومته الموجبة هي Ω 3 j والسالبة هي Ω 2 j أما الصفرية فكانت Ω 1 j والمطلوب حساب التيارات في جميع الأسلاك والجهود علي الأوجه غير القصرية عندما يحدث قصر بين طورين مع الأرض عند أطراف المولد.

17- قارن بين وقاية المولد والمحرك

18- هل نحتاج إلي قاطع عند تأريض نقطة التعادل لمولد في الشبكة الكهربية ولماذا وهل من الممكن إثبات ذلك رياضيا وكيف

19- هل العبارة صحيحة : متمم الجهد الأدنى يعتبر صورة عكسية للوقاية ضد زيادة السرعة للمولدات. المطلوب التعقيب علي الإجابة

Sheet 4 الورقة الرابعة (وقاية القضبان والخطوط)

1- أرسم منظومة وقاية كاملة لوقاية القضبان المزدوجة علي الجهد 220 kV إذا كان متصلا بثلاثة خطوط ومحول واحد. إذا حدث قصر بين طورين علي القضبان وأوجد حالات تشغيل المتمم المستخدم في هذه الحالة.

2- بناء علي الاختيار المزدوج المتدرج (الشكل رقم 9-4) وبدون الوقاية المتجهة تم ضبط الفصل بدون الاعتماد علي مفتاح الربط bus tie No. 5، معامل الاعتمادية لتحميل التيار يساوي 1.2 بينما معامل الحساسية للمتمم المتفق مع الخطوط الخارجة يساوي 1.1 حيث التوافق مع التيارات علي الخطوط غير المقصورة un-faulted lines يمكن إهمالها. معامل المتمم للتيارات العائدة سيكون 0.85 والزمن المختار يجب أن يكون 0.5 ثانية. كما انه لجميع الخطوط الخارجة تكون النسبة ¼، تم تركيب وقاية تيار بضعف الخطوة عندما يعملون في دائرة نجمة غير كاملة أي مفتوحة (opened). الفصل يكون فوريا في الخطوة الأولي ثم يتحول إلي ضبط زمني غير محتكما لمرجع في الخطوة الثانية. تيارات الحمل علي الخطوط لغرض الفصل التلقائي وكذلك الزمن في الخطوة الثانية من التشغيل مجدولة في الجدول. تيارات الخطوط مع القواطع (الجدول رقم 9-3).

الشكل رقم 9-4

الجدول رقم 9-3:

الحالة	تيارات الخطوط مع القواطع (A)				التيار المار بالقاطع (A)				ضبط زمني في المرحلة الثانية (s)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
الأولي	150	200	100	120	1400	1300	1100	1500	1	1.5	1.5	2
الثانية	100	150	50	200	2000	1800	1500	1800	1.5	1	2	1
الثالثة	100	75	50	150	1300	1000	1200	1000	1	1.5	1.5	1

3- الأجزاء المغذية في المنظومة (الشكل رقم 9-5) تكون سريعة الفعل بينما للوقاية الاحتياطية الزمنية للقاطع رقم 6 و 7 المغذيين للمحولات للتأكد من سلامة اختيار الجهة التي بها القصر من جهد 10 kV ومن ثم المطلوب حالات الفصل في كل من الأوضاع الواردة أدناه:

أ) القصر عند F1 (منطقة الفصل الفوري)

ب) القصر عند F1 (منطقة ليست بالفصل الفوري)

ج) القصر عند F1 (منطقة ليست بالفصل الفوري أثناء فصل المفتاح رقم 1)

د) القصر عند النقطة F2

الشكل رقم 9-5

3- هل من الممكن تركيب منظومة وقاية للقضبان في القطاع رقم 3 للدائرة المعطاة ؟

4- احسب معامل الحساسية لمنظومة الوقاية التفاضلية والمختصة بالجزء الأوسط لقضبان 10.5 kV بناء علي التيار المنطلق في الدائرة الابتدائية للشكل المبين. أعطي درجة للحساسية لكل خطوة عندما تكون النجمة غير مكتملة (مفتوحة) والجدول يعرض قيمة التيار الابتدائي (الجدول رقم 9-4):

الجدول رقم 9- 4: التيارات بالدائرة (القيمة بالكيلو أمبير)

الحالة	مجموع التيارات علي الجزء			أقصي تيار قصر عند النقطة			أقل تيار قصر عند النقطة		
النقاط	L	mid	R	F1	F2	F3	F1	F2	F3
الأولي	1.8	2.16	2.2	50	15	12	38	13.7	11.2
الثانية	2.16	1.8	2.2	55	13	16	34	11.3	13.5
الثالثة	3.7	4.2	3.6	75	12	12	60	11.5	11.5
الرابعة	4.2	3.6	3.7	70	18	16	50	16.3	14.7

القواطع لكل أجزاء الشبكة الكهربية (الخطوط – محول الخفض) لن تحتسب لقطع الدائرة وقت القصر. أثناء فتح أحد أجزاء القضبان سيتم توزيع التيارات بين الأجزاء الأخرى بالتساوي. خلال حسابات التيار للمرحلة الأولي لوقاية القضبان (ما عدا القصر بعد الممانعة أو محول الخفض) وجميع التيارات العاملة علي الجزء من القضبان يجب أن تدخل في الاعتبار. هكذا من الممكن أن تتوقف المحركات بعد وقت القصر ومن ثم تيارات الفصل tripping currents يمكن أن تعتمد معامل أكبر بقيمة 1.3، ولكن بعد الفصل يجب أن تتوقف المرحلة الثانية بمعامل التيار الاحتياطي للمتمم 0.85. المرحلة الثانية بالنسبة للجزء غير المصاب من القضبان يجب أن تحسب عندما نفصل أحد الأجزاء ولكن معامل الفرملة الذاتية في هذا النطاق سيكون مساويا 2.5 ومعامل الاعتمادية لهذا الاختيار يساوي 1.2، وأثناء التأكد نجد أن حساسية التيار يجب ألا تدخل في الاعتبار (معامل الحساسية للمرحلة الأولي يجب أن يكون أكبر من 1.5 وللمرحلة الثانية أكبر من 1.2. مجموع التيارات في الأجزاء المصابة عند النهايات العظمي لها (أقصى وأدنى) قد جاءت في الجدول عند جهد 10.5 kV

5- بين بالتفصيل الأنواع المختلفة المستخدمة في الوقاية المسافية وارسم خصائص التشغيل لكل منها ومع التعقيب

6- هل الوقاية المسافية مطلوبة للكابلات؟

7- قارن بين متممات الممانعة ومتممات الموه لوقاية الخطوط مع شرح خصائص كل منها

8- قارن بين متممات الممانعة ومتممات الأوم لوقاية الخطوط مع شرح خصائص كل منها

9- قارن بين الأنواع الثلاثة لأداء الوقاية المسافية ثم اختر أفضلهم للعمل في وقاية خطوط النقل علي الجهد الفائق

10- تم اختيار الوقاية التفاضلية للحماية ضد القصر بين طورين وتم التوصيل علي العزم عند 90° تبعا لمعادلة العزم

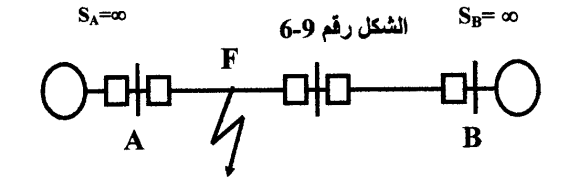
$$T = K\ V_r\ I_r\ \cos\ \phi_r \qquad (9\text{-}1)$$

إذا ما حدث قصر عند النقطة F بين الطورين A & B فيجب التأكد من صلاحية المعادلة المذكورة للوقاية. المعوقات الموجبة والسالبة للخط عند نفس النقطة هي 4 and 3 , 2 , 1 بينما يمكن إهمال التيارات الخاصة بالحمل (الشكل رقم 9-6)

11- المطلوب التأكد من إمكانية تركيب متمم آلي لوقاية الخط إذا كان التيار الأقصى لتشغيله هو I_{max} = 200 A والتيار الأدنى للقصر علي حدود المنطقة المحمية هو 1.1 kA بشرط أن يتم فصل الخط في مدة لا تتجاوز 0.1 second خصائص المحول معطاة في الشكل.

12- أرسم منظومة وقاية كاملة للقاطع الموجود في خلية ربط bus coupler بين القضبان

13- أرسم منظومة الوقاية كاملة للقضبان المزدوجة جهد 220 kV باستخدام الوقاية التفاضلية Merz Price حيث أن القضبان مجزأة علي جزأين sectionalized double bus bar system



الشكل رقم 9-6

Sheet 5 الورقة الخامسة (وقاية المحولات)

1- في محطة محولات تم توصيل محولين 11/3.3 kV علي القضبان 10.5 kV حيث كانت قدرة المحول الأول 5.6 MVA عند جهد قصر % 10.5 والآخر 3.2 MVA عند % 8 . الرسم الخطي معطي في الرسم وكان تيار القصر في الأطوار الثلاثة عند النقطة F_1 هو 6 kA. المطلوب التأكد من احتمالات الفصل من خلال وقاية زيادة التيار بطريقة الجهد المتبقي (النجمة المفتوحة) كوقاية للمحول حيث أقل معامل حساسية أثناء القصر بالمنطقة إلي أن يكون المحول ليست أقل من 2. في الحسابات للتيار الفعال يكون معامل الاعتمادية مساويا 1.4 (الشكل 9-7)

2- تم توصيل محول خفض له ممانعة X_t علي القضبان مع X_c عند جهد V_c وتبعا لما هو مبين في الرسم (الشكل 9-8) المطلوب إيجاد العلاقة بين معوقة الشبكة وممانعة المحول عند الفصل التلقائي لوجود قصر عن طريق النجمة المفتوحة مع معامل إعتمادية يساوي 1.4 ومعامل الحساسية يجب ألا يقل عن 2.

3- تم تركيب الوقاية الحرارية لمحول قدرة 125 / 120 / 30 MVA علي جهد 220 /66 / 11 kV والمطلوب رسم دائرة الوقاية الحرارية كاملة لجزأيها (الإنذار والفصل)

4- محول خفض 10.5/0.4 kV وملفاته موصلة نجمة / نجمة مؤرضة ويعمل في نظم القوي بثلاثة أطوار مع السلك الرابع (نقطة التعادل) كما هو موضح بالرسم. المطلوب أن يتم الفصل التلقائي نتيجة خطأ اتصال أحد الأطوار مع الأرض أو مباشرة علي السلك الرابع من الجهد المنخفض حتى القضبان 0.4 kV . تم تركيب وقاية زيادة التيار الأقصى علي الجهد العالي للمحول تبعا لحالة الاتزان في الأوجه علي الأطوار A & C عند القصر بالنقطة F1 . (1 ph. – earth) حيث النسبة بين التيار الفعال لزيادة التيار وأدني قيمة تيار قصر في الطور (under current) بجانب محطة التوليد تساوي ثلاث مرات معامل الحساسية. هل من الممكن أن ترفض الفصل التلقائي من المحطة إذا ما حدث قصر علي الجانب الآخر من المحول من نوعية قصر الطور مع الأرض. (الشكل رقم 9-9)

(الشكل 9-7)

5- في الشكل 9-10 تم استخدام الوقاية التفاضلية لمحول قدرة بتوصيلة دلتا / نجمة مؤرضة ويلزم المقارنة بين تأثير الحساسية ، في دائرة الوقاية الثانوية، للحالتين من الخطأ أي عند النقطة F1 وعند النقطة F2 عندما يحدث قصر طورين داخل وخارج منطقة الوقاية التفاضلية. افرض أن التيارات الثانوية متماثلة تماما بدون أية إضافات للدائرة.

الشكل 9-8

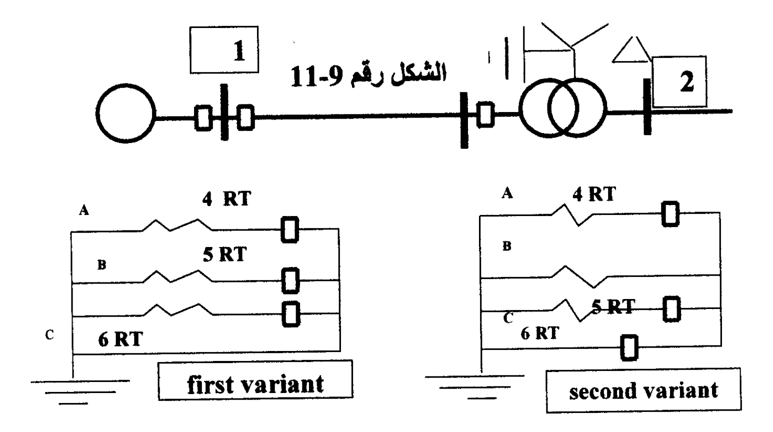
الشكل 9-10

الشكل 9-9

6- أرسم دائرة التيار المستمر d. c. كاملة لجهاز الوقاية الغازية Buchholze device الخاص بالمحولات

7- محول خفض بقدرة 100 kVA وله جهدين هما 3.15 / 0.4 kV رباعي الأسلاك وملفاته موصلة نجمة مؤرضة / نجمة مؤرضة وقد تم تركيب وقاية زيادة التيار علي جانب الجهد الأعلى من المحول علي حساب جهد قصر بقيمة % 8 كما انه تم وضع محولي تيار فقط علي الطورين A and C فقط. أختر شكل التوصيل المناسب لملفات محولات التيار لتضمن الحماية ضد القصر بمعامل حساسية لا يقل عن 1.5 أثناء القصر لطور واحد مع الأرض علي جانب الجهد الأدنى للمحول في منطقة 0.4 kV مع اعتبار أن الممانعة الصفرية بقيمة 5 Xt وأن تيار القصر يعادل ضعف مقنن التيار للمحول.

8- استخدمت حماية زيادة التيار عند النقطة علي الرسم المبين للشكة الكهربية (الشكل رقم 9-11) حيث التيار الهائل إلي الأرض والمطلوب تحديد أي من التوصيلات هي الأكثر حساسية للقصر عند النقطة 2 للقيم المختلفة من الأحمال علي الخط المحمي. تيارات القصر المختلفة قد جدولت في الجدول رقم 9-5. باعتبار أن معامل الإعتمادية $K_r = 1.2$ وأن قيمة إعادة الوضع reset value هي 0.85 والمطلوب تحديد الأفضل.



9- أرسم دائرة وقاية كاملة للمحول ضد ارتفاع درجة الحرارة temperature rise

الجدول رقم 9-5: مركبات التيار للأحمال المختلفة مع حدوث القصر (القيمة بالكيلو أمبير)

Case	Faulty Point	(a) Variant	(b) Variant	variant (c)
Line load	-	420	160	420 A
single phase Short circuit	At point (1) At point (2)	5 1.7	3.8 1.2	0.8 0.63
Double phase to earth s. c.	At point (1)	$I_1 = 10$ $I_2 = 3$ $I_o = 7$	$I_1 = 8.4$ $I_2 = 5.2$ $I_o = 3.2$	$I_1 = 1.7$ $I_2 = 1$ $I_o = 0.7$
Double phase to earth s. c.	At point (2)	$I_1 = 3.8$ $I_2 = 2.3$ $I_o = 1.5$	$I_1 = 2.3$ $I_2 = 1$ $I_o = 1.3$	$I_1 = 1.17$ $I_2 = 0.3$ $I_o = 0.85$
Distribution of current (Io %)	At point (1) At source side	98	90	50
Distribution of current (Io %)	At point (2)At transformer side	15	70	87

ثالثا: تمارين باللغة الإنجليزية

I- SHEET No. I MEASURING TRANSFORMERS

1- In an isolated star 220 kV network, an individual 200 VA, 220000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 5 VA in order to detect the residual voltage. Try to calculate the residual voltage at unbalance of phases.

2- In a delta 66 kV network, an individual 150 VA, 220000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 2 VA in order to detect the residual voltage. Try to calculate the residual voltage at unbalance of phases.

3- In an earthed star 440 kV network, an individual 200 VA, 440000 / 110 turns ratio VT per phase is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 7 VA in order to detect the residual voltage. If the neutral point is connected through a 5 Ω resistive impedance, find the residual voltage at unbalance of phases.

4- For a solidly earthed star 11 kV network, a 3 phase 50 VA, 11000 / 110 turns ratio VT unit is installed. Assume the impedance of each side and take the burden as 2 VA in order to detect the residual voltage. If the phase voltages are 11, angle 0°, 10 angle 100° and 7 with 200°, deduce the required setting for this limit condition of unbalance.

5- A 66000 / 110 V, 150 VA VT is installed at the 66 kV side for the burden of 10 VA where the nominal output of VT is 110 V. The secondary impedance is 0.5 + j 1.2 k Ω and the magnetic branches are 0.2 and j 17 M Ω, referring to the secondary side, obtain:

(a) The rated primary current

(b) The suitable HRC fuse on primary side

(c)The rated secondary current

(d)The errors in the limits of operation of the equivalent circuit

(e) If the resistive part of burden is neglected, calculate the error and give the vector diagram

(f) If the burden is only resistive, calculate the error and give the vector diagram

6- A CT (300 / 5 A) is installed on the primary circuit of 11 kV with rated current of 300 A. The magnetizing equivalent is assumed to be resistive 140 Ω with a burden of 10 VA resistive, too, and it is required to evaluate:

(a) The equivalent primary impedance

(b) The impedance value of the burden in Ω

(c) The error in the actuating current

7- A (200 / 1 A) CT is installed on the primary circuit of 66 kV with rated current of 200 A. The magnetizing equivalent is assumed to be 130 and j 50 Ω with a burden of 15 VA resistive, too, and it is required to evaluate:

(a) The equivalent primary impedance

(b) The impedance value of the burden in Ω

(c) The error in the actuating current

8- A 500 / 5 A CT in connected in the primary circuit of 220 kV at a rated nominal primary current of 500 A where the burden on secondary circuit of CT winding is 10 VA. The secondary impedance may be approximated as 02 + j 0.2 Ω. The magnetizing branches may be considered as j 50 and 150 Ω, then find:

(a) The primary impedance

(b) The limits of secondary impedance

(c) The limits of burden current

(d) The maximum and minimum error in the current

9- Discuss the type of errors in the value of current as well as the displacement effect in the CT and compare this condition with the case of voltage in the VT. Give your view for the subject as a whole.

10- For a 50 Hz, 11kV, distribution system, a 100/5 A CT is installed and the secondary current of peak value is 50 A with a time constant of 0.12 s. Find the transient term of exciting current.

11- A 500/ 5 A CT has been installed per each phase in a 50 Hz power system at 220 kV if the system inductance is 3 mH and the resistance of the system is 5 Ω, deduce the transient primary current when a fault is occurred at 30o moment.

12- Compare between types of CT in networks either for measurement or for protection purposes.

13- Give only the differences between CT and VT in power systems for protection purpose

14- Compare between the use of fuses in both circuits for either CT or VT and prove mathematically (if possible) the governing formula for each of them.

15- Explain in details the types of error in the measuring instruments CT and VT and formulate this error. Also, indicate the reasons for such error. Put a solution for each error if possible.

II- Sheet No. 2 (General Protection)

1- Explain in details the fundamental items of discrimination for the protective circuits in a power system
2- Write about the time discrimination concept for a network
3- Explain the meaning of dead zone in protection circuits with drawings
4- Find the difference between a good discriminative protective scheme and the bad one
5- Put in details the different types of distance protection
6- Draw the operating characteristics of each and discuss.
7- Define the difference between the over load and the over current circuits
8- Indicate the human protection in power networks
9- Characterize the safety rules for operation in stations
10- Find the sensitivity ratio for a differential protection of a winding
11- Discuss the principle of earthing the neutral point in power systems
12- Write about the Peterson coil solid earthing. Comment on both cases.
13- With drawings explain the following items:
a) electromechanical relays
b) static relays
c) basic rules of relays
d) protective gear
e) over current concept
f) earth fault
g) symmetrical faults in power systems
h) unsymmetrical faults in a system
14- Find the relation between the circuit breaking capacity and the faulty conditions
15- How the earthing point affect the rupture capacity of a circuit breaker
16- The danger for earthing in the distribution system

III- Sheet No. 3 (Generator Protection)

1- A 50 MVA , 35 kV alternator is being protected by the use of current balance system using 2000 / 5 A current transformers. The neutral of the alternator is earthed through a resistance of 7.5 Ω If the minimum operating current for the relay is 0.5 A determined, find the percentage of the winding of each phase is out of protection against earth when operating at normal voltage.
2- A 6.6 kV, 3 phase turbo alternator has a maximum continuous rating of 2 MW at 0,8 p. f. and its reactance is 12.5 %. It is equipped with Merz Price circulating current protection which is set to operate at fault currents not less than 200 A. Find what value of the neutral earthing resistance neglects only 10 % of the winding out of protection.
3- A star 3 phase, 20 MVA 11 kV stator winding of alternator is protected by balance current method with current transformers of 1200 / 5 A and minimum operating current of 0.75 A and neutral resistance of 6 Ω Calculate the percentage of protected winding when it is working at nominal voltage. Find also, the protected portion of the winding in the following cases:
(a) $R = 3$, 12 Ω and for current 0.75 A - Comment on results.
(b) for relay operating currents of 0.5, 1.0 at $R = 6$ Ω- give comments on the results.
4- A percentage differential protection is applied to the stator windings of an alternator as given in the figure. The relay has a 0,15 A minimum pick up and a 12 % slope. A high resistance ground fault (as indicated in the figure) is occurred near the neutral point while the generator is loaded as shown on the figure. Assuming that the ratio of used current transformers is 400 / 5 A without any inaccuracies under the faulty condition, Find the condition of operation for the protective device in such case.
5- The winding of a 3 phase 20 MVA 11 kV star generator is protected on the basis of balance system in the secondary circuit with a current transformers of 1200 / 5 A ratio. The relay minimum operating current is 0.75 A as well as the earthing resistance is 6 Ω Calculate the percentage of each

phase of the stator winding which remains without protection for the faults to earth when the operation is steady state under the normal voltage.

6- A 3 phase 20 MVA 11 kV star connected alternator has a synchronous reactance of 2.5 Ω / phase and a resistance of 0.75 Ω / phase. It is protected through differential type balance, so, find the unprotected portion of the winding if the neutral point is earthed through a resistance of 0.5 Ω. Assuming that the relay operates when the out of balance current exceeds 25 % of the full load current.

7- Draw a complete scheme for the protection of generator stator winding on the basis of Merz Price.

8- An alternator stator winding is protected by a differential relay which has 0.15 A as a minimum pick up value (Fig. 9-1) with a slope of 15 % (this slope for a vertical axis of current difference and a horizontal axis of their some). A high resistance fault to ground is occurred inside the turns of the winding to earth. The distribution of the currents in the power circuit is given as 340 A at the phase side but its value is changed to 360 at the other side of the winding and the current transformers have the transformation ratio of 500 / 5 A. Will the relay trip the generator circuit breaker on the phase side under this condition.

9- An 11 kV alternator has the balance circulating current for the protection of its windings where the neutral point of stator windings is earthed through a 5 Ω resistance and the setting of operation for relay has been adjusted at 1.5 A in the pilot wire in the secondary circuit. The current transformers of 100 / 5 A ratio were installed. Evaluate the percentage of the protected winding portion and compare the results to the 90 % protected part of the winding – Comment on your results.

10- A 50 MVA 3 phase 33 kV alternator is protected on the basis of Merz Price with 2000 / 5 A current transformers. The neutral resistance was 10 Ω with a relay minimum operating current of 0.5 A. Determine the ratio of stator winding which must be safe against earth fault conditions at a normal voltage operation.

11- An over current protection should be installed at point 1 of the network shown in Fig. 9-2 with heavy currents through earth. Show which connection is more sensitive for short circuit to earth at point 2 for different values of load currents on the protected line. The short circuit currents are tabulated in the following Table 9-1. Coefficient of reliability is $K_r = 1.2$ and the reset value is 0.85.

12- A differential protection type relying has been selected for protection against line to line fault and it is connected at 90 ° according to the torque equation:

$$T = K\ V_r\ I_r\ \cos\ \phi_r$$

If a short circuit is occurred at a point F between phases A & B, check the validity of the above equation as a good tool for protection. Positive and negative sequence impedances of the line are the same at points 1, 2, 3 and 4 while the currents of the load can be neglected.

13- Check the possibility of installing the automatic relay A-3000 type for line protection, if the maximum operating current $I_{max} = 200$ A. The minimum current at short circuit in boundary of the protected line is 1.1 kA and the line should be opened in time less than 0.1 second. The characteristics of the used relay type A-3000 is illustrated in the given drawing.

14- Design a complete scheme for the protection circuit of a 3 phase generator unit.

15- A power station having installed capacity of 100 MVA with the following data:

4 alternators, 33 kV, 20 MVA each,
3 generators, 11 kV, 20 MVA each,
3 generators, 11 kV, 10 MVA each.

Design the suitable single line diagram and then, draw the complete 3 wire diagram for the protective scheme. Indicate the protective relaying in blocks for simplicity. in the secondary circuit.

16- Write about the items:

a) carrier systems in stations
b) telemetering concept in dispatching centers

c) flickering and signaling in substations
d) air pressure protection in the mechanism of circuit breakers.
17- A balanced, 3 phase, solidly earthed supply is connected to a 3 phase, 4 wire transmission line. Find the currents in each phase, if the line is short circuited to another line at the receiving end (line to line type fault) when the third phase is earthed at the same terminal.
18- A 3 phase, solidly earthed, 4 wire alternator is operating at no load under the nominal voltage of 11 kV. Its positive, negative and zero sequence impedances are j 3, j 2 and j 1 Ω, respectively. Calculate the currents in all wires and voltage of un-faulted phase to neutral when a double line to earth is occurred at the alternator terminals.
19- Try to formulate the sensitivity of the distance relay. Define also, the following:
a) the dead zone in power networks
b) the time grading protection
c) the bonding resistance
d) the directional type of protection

IV- Sheet No. 4 (Bus Bar Protection)

1- On the basis of double graded selection non-directional current protection , an independent setting adjustment has been considered for the bus tie No. 5 which is shown in the figure 9-4 indicating the primary circuit to be protected.
The reliability coefficient for the current loading is 1.2 and that for sensitivity agreement with outgoing lines is 1.1 where the agreement to currents of un-faulted lines can be neglected. The coefficient of relaying for return currents will be 0.85 and the selective time pitch would be 0.5 seconds. Also, for all lines outgoing the ratio ¼ double step current protection is installed where they are working through uncompleted star (opened). The tripping is instantaneous in the first step and it is time independent adjustment for the second one. The load currents of lines for tripping purpose as well as for time in the second grad of operation are listed in Table 9-3.
Feeding elements of scheme are quick acting and for back up time protection of CB No. 6 & 7 feeding transformers to check the selection of faulty side of 10 kV. Find the condition of tripping in the following cases:
a) short circuit at F1 (zone of instantaneous tripping)
b) short circuit at F1 (zone out the instantaneous tripping)
c) short circuit at F1 (zone out the instantaneous tripping during the switching of CB No. 1)
d) short circuit at F2
2- For the given circuit (Fig. 9-5) is it possible to install a protective scheme for 3 section bus bar shown system ?
3- Calculate the coefficient of sensitivity for the differential protection scheme which is related to the middle section of 10.5 kV bus Bar on the principle of released current in the primary circuit shown in figure. Give a degree for the sensitivity in each step when the uncompleted star scheme has been applied. The primary currents are listed in the Table 9-4.
The CB of all fed elements (lines – step down transformer) will not be calculated for opening at s. c. till the concentrated impedances of circuit shown. During opening one of the sections, loads will be distributed between the two other sections equally. During the current computations for the first stage in the Bus Bar protection (except the faulted s. c. after reactors or step down transformer) the working currents in the section should be included. Thus, the fed motors may be braked after the time of s. c. The tripping currents can be calculated with a higher coefficient of 1.3. After tripping the second step must not act where the coefficient of back up current relay will be 0.85. The second step for non- faulted section of the Bus Bar must not be accounted when switching off for one section is taken into consideration. The coefficient of self breaking for motors in this region will be 2.5. The reliability coefficient for the selection probabilities = 1.2. During check the current sensitivity should not be considered (coefficients of sensitivity for fist step must be >1.5 but for

second > 1.2) The sum of working currents in sections at their limits (maximum and minimum) for faulted elements with metallic s. c. at 10.5 kV are given in the Table 9-4.

V- Sheet No. 5 (Transformer Protection)

5.1. Two transformers 11/3.3 kV are connected to a bus bar 10.5 kV in a substation. The power of the first transformer is 5.6 MVA at s. c. voltage of 10.5 % while the second will have 3.2 MVA at 8 %. The single line diagram has been drawn in the figure below. The current of 3 phase s. c. at the point F1 is 6 kA. Check the possibility of tripping through the over current protection through the uncompleted star as a protection for the transformer where the minimum coefficient of sensitivity during the short circuit in the zone till the transformer must not be less than 2. At the calculation of working current the reliability coefficient would be 1.4. (Fig. 9-7).

5. 2- A step down transformer of X_t reactive impedance is connected to a bus bar with X_c at voltage V_c, according to the single line diagram given in Fig. 9-8. Determine the relation between the system impedance X_c and that of transformer at s. c. tipping through the uncompleted star circuit for the transformer protection with a reliability coefficient of 1.4 and minimum coefficient of sensitivity must not less than 2.

5.3- A step down transformer 10.5/0.4 kV with a winding connection star/ earthed star is working in a 3 phase system with a neutral wire as shown in Fig. 9-9. It is required to trip the single phase to earth s. c. or directly on the earth wire on the neutral wire from the L V side till the bus bar 0.4 kV. A maximum over current protection has been installed at the H V side of the transformer according to the balance scheme relay on phases A & C . s. c. at F1 (1 ph. – earth) where the ratio between the minimum (under current) fault occurring in phase at the station side to the working current for the over current device will be equal the three times of the coefficient of sensitivity. Is it can refuse the tripping from the station on the special protection for the transformer at 1-ph s. c. on the L V side.

5.4- In the scheme (Fig. 9-10) of differential protection for a earthed star / delta power transformer compare between the sensitivity effect, for the secondary circuit of protection, the two cases appointed on the figure for the place of fault F1 and F2 when the s. c. is a double line inside and outside the zone of differential scheme. Assume that the secondary currents are balanced without any addition for devices in the circuit.

5.5- For a 100 kVA step down transformer 3.15 / 0.4 kV with a wire system with solid earthing star / earthed star where voltage of s. c. is 8 % for the over current protection which has been installed at the H V side of the transformer with current transformers on phases A and C only. Choose the scheme of connection for the windings of the current transformers for secure the effectiveness of protection against s. c. with coefficient of sensitivity greater than 1.5 during the single phase fault at the L V side of the transformer in he region 0.4 kV Take the zero sequence reactance as 5 X_t and the s. c. current as twice the nominal current of the transformer.

VI- General

1- Which best:

a) fuse or circuit breaker for protection in home networks
b) fuse or circuit breaker for protection in distribution networks
c) fuse or circuit breaker for protection in power networks
d) fuse or circuit breaker for protection of alternators

2- When is the directional discrimination for protection in networks needed?
3- Why is the directional discrimination for protection in networks needed?
4- Where is the directional protection in networks installed?
5- Where is the time discrimination with directional protection in networks installed?
6- Why is the time discrimination for protection in networks installed?
7- Why is Master relay important?
8- Why is the time grading discrimination for protection in networks required?
9- What is the most important: selectivity or sensitivity, which is the first important?

10- Why should:
a) the alternator be protected ?
b) the transformer be protected ?
c) the bus bar be protected ?
d) the line (overhead or cable) be protected ?
e) the cell of bus coupler be protected ?
f) static relays are appeared?
11-Give reasons for the use of directional protection in networks.
12-Draw a complete tripping circuit for the master relay of a circuit breaker.
13- Indicate:
a) the basic items of discrimination for protective schemes in the power systems.
b) all types for discrimination of protection in networks.
c) Back up protection means ....
14- Define:
a) time setting in protective circuits.
b) current setting in protective circuits.
15- Explain: time grading in protective circuits.
16- Compare between:
a) types of discriminations
b) reactance and mho relays.
c) reactance and ohm relays.
d) impedance and mho relays.
e) the required protections for either alternator or motor.
17- Is the circuit breaker at the neutral point of an alternator required? Why?
18- The under voltage relay is an opposite view for the over speed protection for alternators. Comment.
19- Draw a complete protective scheme for:
a) the circuit breaker in the bus coupler cell.
b) the signaling and tripping of temperature rise in transformers.
d) the Buchholze device on transformers.
20- Is the distance protection required for cable protection?
21- Explain the quickness base for action of relays in a power system.

2-9: نماذج إمتحانات Examinations

أولا: نماذج إمتحانات باللغة العربية

I- امتحان أعمال السنة

أجب علي الأسئلة التالية بوضع علامة × أمام العبارة الخطأ وعلامة ✓ أمام العبارة الصحيحة:

1- مركز التحكم يعمل تابعا لمحطة التوليد
2- أجهزة الوقاية هي التي تتحكم في جهد تشغيل القضبان BB
3- زمن الفصل التلقائي لحماية تجاوز الحمل أسرع من حماية زيادة التيار
4- زمن فصل القصر بين طورين أسرع من زمن فصل القصر بين طورين والأرض
5- الفصل الفوري يعني الفصل في زمن قدره صفر
6- البردن Burden هي معوقة المتمم
7- دائرة الفصل Tripping تعمل بالتيار المتردد وهي أول دوائر الوقاية
8- يستخدم محول الجهد السعوي في محطات المحولات بشبكات التوزيع
9- قيمة المقاومة الممثلة للتأثير المغناطيسي في محولات التيار أكبر من نظيرتها في محولات الجهد
10- يمكن الاستعانة بمحول جهد بتوصيلة نجمة دلتا لقياس الجهد المتبقي
11- يكفي وضع متمم الوقاية من زيادة التيار علي جانب الجهد العالي فقط
12- تتم وقاية محولات الجهد بوضع مصهر جهة ملفات الجهد العالي فقط
13- تستخدم محولات التيار للقياس والوقاية والتحكم في المعدات والأجهزة بالشبكات

14- يوضع محول الجهد عن نهايتي كل خط نقل كهربي
15- المتممات الديناميكية أسرع من المتممات الساكنة
16- كاشفات المستوي جزء لا يتجزأ من المتممات الديناميكية
17- يستخدم نوع البوابة الكهربية التي تعمل علي أعلي جهد لحظي في دوائر الوقاية
18- نقطة عمل الكاشف بمبدأ المستوى تكون في منطقة الركبة من خصائص تشغيل محول الجهد
19- من الأفضل التعامل مع الشكل الموجي للتيار عند التعامل مع دوائر الوقاية الرقمية دون تحويلها إلي شكل آخر
20- عند ضبط المتمم علي قيمة الضبط تكون هي المقابلة للتيار الأقصى في الشبكة الرئيسية

II: امتحان أعمال السنة الأول

1- إذا كان لديك مصنع يحتوي علي 5 عنابر متجاورة ومتلاصقة، وكل عنبر بأبعاد 20 m × 80 m بارتفاع 4 m ونحتاج إلي وضع شبكة إنذار حريق للمصنع بعنابره الخمسة وكان من خصائص كاشف الدخان (وسعره 5 دينار) أنه يناسب هذا العنبر. المطلوب حساب التكلفة الكلية لهذه الشبكة إذا كانت المسافة بين كل كاشفين هي 5 متر ويستخدم في التوصيلات أسلاك 0.25 mm^2 (بسعر 1 دينار/ 100 m) كما أن الربط هذا يحتاج إلي وحدات تحكم فرعية بسعر 100 دينار للوحدة وهناك أيضا وحدة تحكم رئيسة بسعر 200 دينار. المطلوب أيضا رسم الرسم الخطي للتوصيلات الثانوية الخاصة بشبكة إنذار الحريق ككل ولكل عنبر علي حدة. هل التكلفة التي وصلت إليها هي الأقل أم لا ولماذا.

2- إذا كان لديك مدخل للوحة توزيع رئيسية في مصنع بمقنن 150 A وعليك أن تختار بين قاطعين الأول هو 200 A، 20 kA والثاني هو 300 A ، 15 kA فماذا تختار ولماذا وبين بالرسم والحساب كيف يتم الاختيار. مطلوب التعقيب علي المزايا والعيوب في الاختيار.

3- إذا كان لديك مدخل للوحة توزيع رئيسية في مصنع بمقنن 200 A وعليك أن تختار بين قاطعين الأول هو 200 A، 10 kA والثاني هو 300 A ، 15 kA فماذا تختار ولماذا وبين بالرسم والحساب كيف يتم الاختيار. مطلوب التعقيب علي المزايا والعيوب في الاختيار.

4- إذا كان لديك مدخل للوحة توزيع رئيسية في مصنع بمقنن 150 A وعليك أن تختار بين قاطعين الأول هو 200 A، 20 kA والثاني هو 300 A ، 30 kA فماذا تختار ولماذا وبين بالرسم والحساب كيف يتم الاختيار. مطلوب التعقيب علي المزايا والعيوب في الاختيار.

III - المعهد العالي للهندسة إمتحان مادة هك 521 (حماية أنظمة القوي)

الزمن: 3 ساعات (يوليو 2006) By Prof. Dr. Mohamed Hamed

يمكن فرض أية بيانات مطلوبة في الحل

أجب علي الأسئلة التالية:

السؤال الأول:

تم تركيب محول تيار 5/500 A علي جهد 11 kV وكان التأثير المغناطيسي هو 150 + j50 Ω وكانت البردن 10 VA والمطلوب تحديد معوقة الثانوي ثم تحديد الخطأ في الحالات الآتية:

1- حالة تغيير البردن إلي 15 VA
2- حالة تغيير البردن إلي 5 VA
3- إذا أهملت المقاومة المغناطيسية
4- إذا أهملت الممانعة المغناطيسية

السؤال الثاني:

أرسم دائرة فصل تلقائي كاملة للمتمم الرئيسي Master Relay الملحق بالقاطع الهوائي مع استخدام نظام السلم للدوائر في رسم الدائرة الكهربية

السؤال الثالث:

تمت حماية مولد كهربي ثلاثي نجمة 35 kV بمقنن 2 kA بأسلوب اتزان التيار (ميرز برايز) علي الملفات باستخدام محولات التيار بمقنن 2000 / 5 A كما تم تأريض نقطة التعادل من خلال مقاومة 7.5 Ω. إذا كانت اقل قيمة غمز pick up للمتمم هي 0.5 A أوجد النسبة المئوية من الملفات التي تكون في خطر لعدم دخولها في الحماية عندما يعمل المولد بالجهد المقنن.

السؤال الرابع:

إذا كان الضبط المرحلي لوقاية المسافة (بنظام المعوقة) علي خط نقل كهربي هو 0.3 ، 0.7 ms علي مرحلتي 80 ، 120 % وكانت المقاومة المقاسة للقصر هي 0.97 p. u. وكانت معادلة المعوقة هي $R^2 + X^2 = 0.81$ والمطلوب تحديد ما إذا كان المتمم يفصل أم لا وإذا فصل ففي أي المراحل يفصل.

ثانيا: نماذج إمتحانات باللغة الإنجليزية
1- النموذج الأول

Assume Any Required Data

Try to solve the following:

1- A 300 / 5 A CT in connected in the primary circuit of 11 kV at a rated nominal primary current of 300 A where the burden on secondary circuit of CT winding is 10 VA. The secondary impedance may be approximated as 02 + j 0.2 Ω. The magnetizing branches may be considered as j 50 and 150 Ω, then find:

(a) The primary impedance
(b) The limits of secondary impedance
(c) The limits of burden current
(d) The maximum and minimum error in the obtained current

2- In static relays the detectors are appeared in the integrated circuit for the protection purpose, Find with drawings the different characteristics for the used types of detectors and give an example for the combination between them.

3- A star 3 phase, 20 MVA 11 kV stator winding of alternator is protected by balance current method with current transformers of 1200 / 5 A and minimum operating current of 0.75 A and neutral resistance of 6 Ω Calculate the percentage of protected winding when it is working at nominal voltage. Find also, the protected portion of the winding in the following cases:

(a) R = 3 & 12 Ω and for current 0.75 A - Comment on results.
(b) for relay operating currents of 0.5, 1.0 at R = 6 Ω
Comment on the results.

4- Compare between the operating performance of the three types of distance relay and indicate the best of them with reasons.

5- Draw the complete protective circuit for the protection of a 220 kV double Bus Bar system. There are three lines and one transformer on the Bus bar. If a line to line fault is occurred on the B. B., find the operating condition for the relay used in this scheme.

2- النموذج الثاني

Try to solve the following :

1- A 50 MVA, 35 kV alternator is being protected by the use of current balance system using 2000 / 5 A current transformers. The neutral of the alternator is earthed through a resistance of 7.5 Ω If the minimum operating current for the relay is 0.5 A determined, find the percentage of the winding of each phase is out of protection against earth when operating at normal voltage.

2- Put in details the different types of distance protection Draw the operating characteristics of each and discuss.

3- Draw a complete scheme for the protection of a bus bar on the basis of Merz Price. Use the sectionalized double bus bar system.

4- For a transformer 125 / 120 / 30 MVA 220 /66 / 11 kV, the temperature protection is installed and now it is required to draw a complete circuit for its two (signaling and tripping) circuits. Indicate the degrees in (° C) for each.

Give a short report (not more than 4 pages) about the types of fuses and coordination with circuit breakers in a network.(Use Drawings).

1- Write about the items:

a) carrier systems in stations
b) telemetering concept in dispatching centers
c) flickering and signaling in substations
d) air pressure protection in the mechanism of circuit breakers.

2- A balanced, 3 phase, solidly earthed supply is connected to a 3 phase, 4 wire transmission line. Find the currents in each phase, if the line is short circuited to another line at the receiving end (line to line type fault) when the third phase is earthed at the same terminal.
3- A 3 phase, solidly earthed, 4 wire alternator is operating at no load under the nominal voltage of 11 kV. Its positive, negative and zero sequence impedances are j 3, j 2 and j 1 Ω, respectively. Calculate the currents in all wires and voltage of un-faulted phase to neutral when a double line to earth is occurred at the alternator terminals
4- Try to formulate the sensitivity of the distance relay. Define also, the following:
a) the dead zone in power networks
b) the time grading protection
c) the bonding resistance
d) the directional type of protection

3- النموذج الثالث

Try to solve the following (*Assume Any Required Data*):
1- A 300 / 5 A CT in connected in the primary circuit of 11 kV at a rated nominal primary current of 300 A where the burden on secondary circuit of CT winding is 10 VA. The secondary impedance may be approximated as 02 + j 0.2 Ω. The magnetizing branches may be considered as j 50 and 150 Ω, then find:
a) The primary impedance ***b) The limits of secondary impedance***
c) The limits of burden current ***d) The maximum and minimum error in the obtained current***
2- An over current protective circuit is built by a 500 / 5 A (with error of 2 %) for a 3 phase 110 kV line with a circuit breaker. The single pole of this circuit breaker is closed in 1 ms and opens the circuit by 4 ms. The permissible maximum opening time for the switching of for the three phases is 8 ms, while the tripping operation consumes normally 30 ms with a 3 % error value. If the overshoot for this relay is considered as 1 ms., find:
a) The time setting of relay due to the change of the network parameters
b) The time setting of the relay for the mistakes of the relay operation
c) The adjusted time setting of the relay
d) The effective time setting for the protective circuit
3- A star 3 phase, 20 MVA 11 kV stator winding of alternator is protected by balance current method with current transformers of 1200 / 5 A and minimum operating current of 0.75 A and neutral resistance of 6 Ω Calculate the percentage of protected winding when it is working at nominal voltage. Find also, the protected portion of the winding in the following cases (*Comment on results*):
(a) R = 3 & 12 Ω and for current 0.75 A
(b) for relay operating currents of 0.5, 1.0 at R = 6 Ω
4- A differential protective circuit working with a 100 / 1 A current transformer. The V / I characteristic of the CTs will be only linear. Different rates of rise for both sides where one is 2 Ω and the other one is 3 Ω. The operating voltage in the secondary circuit is 10 V.
a) Compute the continuous current in relay with the nominal operation
b) Calculate the change in the current through the burden if the voltage is increased by 20 %, calculate the rate of change in the relay current.

REFERENCES المراجع

أولا: مراجع عربية

1- أحمد ضياء القشيري (مجلة الكهرباء العربية): أشباه الموصلات في دوائر القوى الإلكترونية 1987(7) + تطبيقات الثايريستور في العمليات الصناعية 1988(13) + نظم الحماية في دوائر الثايريستور 1987(9).

2- أسر زكي، عبد المنعم موسى: حماية منظومات توزيع القوى الكهربية.
المرحلة التفاضلية للوقاية من التسرب الأرضي – دراسة - مجلة الكهرباء العربية – 1999(51).

3- عبد المنعم موسى: تأريض الشبكات الصناعية والتجارية - مجلة الكهرباء العربية – 1999(49).

4- علاء رشوان: السلامة الكهربية في المصانع – مجلة الكهرباء العربية – 1999(55).

5- كاميليا يوسف محمد: الوقاية في الشبكات الكهربائية – 1996.

6- مجلة الكهرباء العربية – العدد 51.

7- محمد خضير: الموسوعة الكهربية وهندسة الحمايات الكهربية.

8- محمد حامد: التركيبات الكهربية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – القاهرة – 1998.

9- التقرير الاحصائى لهيئة القطاع العام لتوزيع القوى الكهربية (لعام 1990- 1991).

10- أساسيات الهندسة الكهربية الجزء الأول: تأليف هاينز جراف، ترجمة م. إدوار يوسف، م. أمين قاسم سليم تحت إشراف د .م / أنور محمد عبد الواحد.

ثانيا: مراجع أجنبية

11- J. Lewis Blackburn: Protective Relaying – Principle & Application, Book.

12- D. W. Borst & F. W. Parrish: Voltage Control By Means Of Power Thyristors.

13- N. Chernobrovov: Protection Relaying, Mir, Moscow, 1974.

14- Electrical Apparatus for explosive gas atmosphere with type of protection n , DIN VDE 0165/VDE 0170?0171 section 16/05.98

15- T S Madhava Rao: Power System Protection. Static Relays. TATA McGraw Hill – New Delhi, 1989.

16- Abdalla Moselhy: Integrated Circuits, Zagazig, Egypt, 1999

17- L. E. Nickels: Power Control & Conversion.

18- K. R. Padiyar: HVDC Power Transmission Systems Technokogy & System Interactions, Wiley Eastern Limited, 1990.

19- Sunil S. Rao: Switch Gear & Protection, 1992

20- B. Ravindranath, M. Chander: Power System Protection & Switch Gear, 1989.

21- M. G. Say: Alternating Current Machines.

22- Robert W Smeaton: Switchgear & Control Hand Book.

23- Helmut Ugarad, Wilibald Winker, Andrzej Wiszniewski: Protection Techniques in Electrical Energy Systems.

24- User Manual & Technical Description: ABB Network. Part new.

25- Charles A. Gross: Power System Analysis, John Wiley & Sons, New York, 1979.

26- www.DirectIndustry.htm (2006).

رقم الايداع : 2007 / 9155

الترقيم الدولي: 7 - 4636 - [illegible] - [illegible]